



DIVISIÓN DE CIENCIAS Y ARTES PARA EL DISEÑO
Especialización, Maestría y Doctorado en Diseño

**DISPOSITIVO DE ILUMINACIÓN DE ALTA
EFICIENCIA INSTALADO EN CUBOS DE EDIFICIOS**

Alejandro Díaz Báez

Tesis para optar por el grado de Maestro en Diseño
Línea de Investigación: Arquitectura Bioclimática

Miembros del Jurado:

Dr. José Roberto García Chávez
Director de tesis

Dr. Luis Fernando Guerrero Baca
Dr. Hernando Romero Paredes
Dr. Juan José Ambriz García
Dr. Ricardo Aguayo González

México D.F.
Diciembre de 2009

D e d i c a t o r i a

Dedico este trabajo a todas las personas que de alguna manera me han apoyado durante esta nueva formación.

*A mi esposa **Gabriela** que siempre ha creído en mí y su gran amor.*

A mis padres **Alejandro Díaz** y **Catalina Báez** por sus consejos; a los padres de mi esposa, el **Sr. José Luis** y la **Sra. Gloria** por el apoyo moral y consejos que me han brindado.

A mis hermanos **Luis Manuel** y **Fernando** que nunca me dejan solo en los malos momentos, a **Enrique** y **Gloria** porque siempre están cuando necesitamos una voz de aliento.

A mis amigos con los que siempre cuento: **Andrei Salas, Víctor Hugo Rodríguez, Alberto Zurita, Ana Julieta Acuña** y **Herberth R. Córdova**.

A la Universidad Autónoma Metropolitana por recibirme en su casa, a mi Director de Tesis el **Dr. José Roberto García Chávez**, a mis compañeros y nuevos amigos.

Y especialmente a **Dios** por permitirme realizar tantos proyectos y conocer personas muy valiosas en el viaje de mi vida.

"La arquitectura es el encuentro de la luz con la forma"
Charles Édouard Jeanneret-Gris, conocido como **Le Corbusier**

Resumen

En las edificaciones, su mayor consumo de energía es por electricidad, este consumo se ve reflejado en el concepto de iluminación, el cual se evitaría con la adecuada orientación y la superficie de vano necesaria para garantizar el confort lumínico. En ciertas construcciones debido a su altura y disposición se utilizan patios o cubos que satisfacen las necesidades de iluminación y ventilación. Por lo que se planteó la investigación de un dispositivo de alta eficiencia instalado en patios o cubos, con problemas en los locales orientados a éstos, con un bajo nivel de confort visual y lumínico.

El dispositivo se probó en dos casos de estudio; el primer caso es un edificio escolar, secundaria diurna No. 7, nombrada José Manuel Ramos, en la ciudad de México, dicho edificio tiene actividades en un periodo de 7:00 horas a las 20:00 horas, por lo tanto, el consumo del gasto energético por el rubro de la iluminación es bastante elevado por las carencias de iluminación natural en las aulas y laboratorios orientados a los patios o cubos de iluminación, el segundo caso se propuso en edificio habitacional, por ser un modelo de edificación más común en la ciudad y en los cuales se presenta con más frecuencia casos de patios o cubos de iluminación, carentes de su propósito principal.

Las pruebas de laboratorio con las que se sometió el dispositivo se realizaron al aire libre con un modelo a escala en el cual se instaló el dispositivo para medir con un luxómetro el incremento de los niveles de lux registrados en el modelo real, también se trazó la trayectoria solar para hacer un reloj solar y montar un apuntador láser, con el cual se verificó el comportamiento de las reflexiones de los rayos solares y la última prueba elaborada fue realizar el modelo a escala 1:1 y probarlo en el modelo real (en sitio).

Las pruebas realizadas comprobaron una eficiencia aproximada de un 25% de incremento en las plantas bajas y un 30% en los niveles 3 y 4, la principal ventaja del dispositivo es su sencillo diseño y adaptación a cualquier latitud esto con el fin de que se pueda instalar en diferentes ciudades sin tener que hacer modificaciones en el dispositivo si no solo un ajuste manual.

La fabricación del dispositivo es en acero inoxidable en acabado al alto brillo tipo espejo y el costo oscila de los \$14,000.00 a los \$16,000.00 pesos y tiene una vida útil de 25 años y a números gruesos se prorratea en un costo promedio de \$650.00 por año o \$1.50 al día lo cual abate el gasto del equipo con el ahorro en el consumo eléctrico en el rubro de la iluminación. Además de los beneficios económicos, el dispositivo lumínico de alta eficiencia presenta beneficios ambientales, ya que cada disminución del consumo de energía se reduce también la emisión de contaminantes al medio ambiente. Por lo tanto el costo del sistema se ve amortizado en un plazo de 5 años fabricando los dispositivos de manera individual y de 3 años se fabrican en serie.

Abstract

In the constructions, its greater consumption of energy is by electricity, this consumption is reflected in the illumination concept, which would be avoided with the suitable direction and the surface of bay necessary to guarantee the luminance comfort. In certain constructions due to their height and disposition patios or buckets are used that satisfy the necessities with illumination and ventilation. Reason why the investigation of a device of high efficiency installed in patios or buckets considered, with problems in the premises oriented to these, with a low level of visual and luminance comfort

The device proved in two cases of study; the first case is a scholastic, secondary building diurnal No 7, named Jose Manual Branches, in the city of Mexico, this building has activities in a period of 7:00 hours to 20:00 hours, therefore, the consumption of the power cost by the heading of the illumination enough is elevated by the deficiencies of natural illumination in the classrooms and laboratories oriented to the patios or buckets of illumination, the second case seted out in habitacional building, for being a model of construction commonest in the city and in which it appears with more frequency cases of patios or buckets of illumination, devoid of its main intention. the surface of bay necessary to guarantee the luminance comfort. In certain constructions due to their height and disposition patios or buckets are used that satisfy the necessities with illumination and ventilation. Reason why the investigation of a device of high efficiency installed in patios or buckets considered, with problems in the premises oriented to these, with a low level of visual and luminance comfort.

The laboratory tests with which the device was put under made outdoors with a model on scale in which the device settled to measure with luxómetro the increase of the registered levels of lux in the real model, also the solar trajectory drew up to make a clock solar and to mount a laser pointer, with who the behavior of the reflections of solar rays was verified and the last elaborated test went to make the model on 1:1 scale and to prove it in the real model (in site).

The made tests verified an approximated efficiency of a 25% of increase in the ground floors and a 30% in levels 3 and 4, the main advantage of the device are their simple design and adaptation to any latitude this in order that it is possible to be installed in different cities without having to make modifications in the device if not only a manual adjustment.

The manufacture of the device is in stainless steel in finished to the high brightness type mirror and the cost oscillates of the \$14.000,00 to the \$16.000,00 pesos and has a life utility of 25 years and to heavy numbers average of \$650,00 per year or \$1,50 to the day is prorated in a cost which Father the cost of the equipment with the saving in the electrical consumption in the heading of the illumination. In addition to the economic benefits, the luminance device of high efficiency presents/displays environmental benefits, since each diminution of the energy consumption is also reduced the emission of polluting agents to environment. Therefore the system cost is amortized within 5 years production individually devices and 3 years are produced in series.

Índice

	Página
1.- Introducción	1
2.- Estado del Arte	4
2.1 Antecedentes históricos	6
2.2 Características de la iluminación Solar	8
2.2.1 Físicas	10
2.2.2 Geométrica y mecánica solar	13
2.3 La Luz	13
2.3.1 Naturaleza de la Luz	14
2.3.2 Espectro electromagnético	16
2.3.3 Parámetros lumínicos	20
2.4 Conceptos geométricos y ópticos	24
2.4.1 Propiedades ópticas de la materia	25
2.4.2 Reflexión	27
2.4.3 Refracción	34
2.4.4 La Parábola	36
2.5 Cálculo Óptico	37
2.5.1 Ley de Lambert	38
2.5.2 Principio de Huygens	39
2.5.3 Ley de Snell	40
3.- Luz y Arquitectura	41
3.1 Confort Lumínico	41
3.2 Nivel de iluminación (lux)	42
3.3 Contraste y deslumbramiento	43
3.4 Condiciones de cielo	46
3.5 Normatividad	46
4.- Dispositivos lumínicos	48
4.1 Especulares	48
4.1.1 Helióstatos	48
4.1.2 Luminoductos	49
4.1.3 Fibra óptica	50
4.1.4 Concentradores solares	50
4.1.5 Dispositivos especiales	51
4.1.6 Proyectos Integrales	52
4.1.7 Dispositivos Especulares (similares)	53
5.- Casos de Estudio	54
5.1 Justificación	54
5.1.1 Casos de estudio	55
5.1.2 Sistema propuesto	57
5.1.3 Metodología del experimento	59
5.2 Edificio Escolar (Secundaria No.7)	60
5.2.1 Planos arquitectónicos	60
5.2.2 Montea solar con corte Arq.	65
5.2.3 Niveles de confort visual	66
5.2.4 Ubicación de los puntos de medición	68

5.2.5	Niveles de iluminación actuales	70
5.3	Edificio Habitacional (Departamentos)	74
5.3.1	Planos arquitectónicos	74
5.3.2	Montea solar con corte Arq.	78
5.3.3	Niveles de confort visual	79
5.3.4	Ubicación de los puntos de medición	81
5.3.5	Niveles de iluminación actuales	84
6.-	Pruebas de laboratorio	87
6.1	Edificio Escolar (Secundaria No.7)	88
6.1.1	Pruebas al Aire libre	89
6.1.2	Aplicación de la proyección Gnomónica	98
6.1.3	Aplicación de la proyección Láser	100
6.2	Edificio Habitacional (Departamentos)	104
6.2.1	Pruebas al Aire libre	105
6.2.2	Modelo a escala	113
6.2.3	Modelo 1:1	114
7.-	Comprobación del Dispositivo Lumínico	117
7.1	Edificio Escolar (Secundaria)	117
7.2	Trazo geométrico	121
7.2.1	Edificio Escolar (Secundaria)	121
7.2.2	Edificio Habitacional (Departamentos)	125
8.-	Diseño del Dispositivo de Iluminación	127
8.1	Planos de taller	128
8.2	Detalles constructivos	129
9.-	Evaluación del costo beneficio	130
9.1	Gasto energético	130
9.2	Costos del Prototipo	131
10.-	Proyectos a futuro	136
11.-	Conclusiones	139
Glosario		141
Bibliografía		146
Curriculum vitae		149

Índice de Figuras y Tablas

Figura	Título	Página	Figura	Título	Página
1:	Efecto Invernadero	4	32:	Lámina de caras paralelas	35
2:	Isaac Newton	6	33:	Prismas, lámina de caras paralelas	35
3:	Christian Huygens	6	34:	Elementos de una Parábola	37
4:	Efecto Faraday	6	35:	Transmitancia del rayo incidente en una superficie y resultante.	38
5:	Templo de Ramsés II	7	36:	Diagramas de reflexión según el principio de Huygens	39
6:	Castillo de Chichén Itzá, Cultura Maya	7	37:	Una parte de la luz incidente se refleja en la frontera y la otra parte se transmite al otro medio.	40
7 y 7a:	Corte transversal del Panteón de Agripa, Roma y vista interior del mismo.	7	38:	Helióstatos	48
8:	Superficie del sol (corona solar)	8	39:	Horno Solar a base de espejos cóncavos	48
9:	Estructura y composición del Sol	10	40:	Luminoductos o ductos lumínicos	49
10:	Distancia media de la tierra y el sol 1.496X10 ¹¹ m, unos 8 minutos de viaje a la velocidad de la luz.	11	41:	Casa ejemplo con el sistema de Luminoductos o ductos lumínicos	49
11:	El viento solar	12	42:	Fibra óptica	50
12:	Gráfica Solar (Latitud 19° 25' 32") centro del caso de estudio (Edificio educativo)	13	43:	Fibra óptica	50
13:	Efecto Invernadero	13	44 y 45:	Canal Parabólico y geometría de un canal	50
14:	Descomposición de la Luz	14	46:	Canal Parabólico y geometría de un canal	50
15:	Vista lateral de una Onda electromagnética	14	47 y 48:	Parlamento Alemán en Berlín y detalle de la cúpula (Sistema de iluminación natural)	51
16:	Max Karl Ernest Ludwig Planck	15	49 y 50:	Palacio de Cristal en Inglaterra	51
17:	Espectro electromagnético	16	51 y 52:	Edificio con sistemas integrales (iluminación y ventilación)	52
18:	Longitud y Amplitud de Onda	16	53:	Conducto de Luz	52
19:	Luz visible (ondas electromagnéticas)	18	54:	Dispositivos especulares	53
20:	Líneas espectrales de absorción	20	55:	Fachada principal	55
21:	Temperatura de color	24	56:	Patio principal	55
22:	Sombras y penumbras	24	57:	Ciudad de México (Distrito Federal)	55
23:	Leyes de la reflexión	27	58:	Ubicación del edificio escolar	55
24:	Espejos planos	27	59:	Edificio habitacional (fachada principal)	56
25:	Espejos esféricos (casquete esférico)	28	60:	Edificio habitacional (cubo de iluminación)	56
26:	Espejos cóncavos	29	61:	Edificio habitacional (patio posterior)	56
27:	Espejos esféricos superiores a los 8° o 9°s (espejos cóncavos)	30	62:	(Edificio habitacional) Accesos, baños y cocina orientados al Cubo de iluminación.	57
28:	Imágenes en espejos esféricos	31	63:	(Edificio escolar) Aulas y pasillos orientados al Cubo de iluminación.	57
29:	Imagen de objetos reflejada en el espejo	32	64:	(Edificio escolar) Pruebas con un Gnomón y un apuntador Láser	58
30:	Imagen reflejada en el espejo convexo	33			
31:	Desviación del rayo efecto de la refracción	34			

Figura	Titulo	Página	Figura	Titulo	Página
65:	(Edificio escolar) Pruebas con un Gnomón al aire libre	58	94:	(Edificio habitacional) Tabla de niveles de confort visual.	80
66:	(Dispositivos) Pruebas	59	95:	(Edificio habitacional) distribución de puntos de medición (planta de sótano y primer nivel).	81
67:	(Edificio escolar) Planta baja	60	96:	(Edificio habitacional) distribución de puntos de medición (segundo y tercer nivel).	82
68 y 69:	(Edificio escolar) Planta del 1° nivel y Estructura de refuerzo en fachada principal y fachada posterior	61	97:	(Edificio habitacional) distribución de puntos de medición (cuarto nivel y azotea).	83
70 y 71:	(Edificio escolar) Planta del 2° nivel y 3°er nivel	62	98:	(Edificio habitacional) distribución de puntos de medición (Gráfica de Isolux en planta).	84
72:	(Edificio escolar) 4to. Nivel	63	99:	(Edificio habitacional) distribución de puntos de medición (Gráfica de Isolux en planta) en segundo y tercer nivel.	85
73:	(Edificio escolar) Corte transversal	63	100:	(Edificio habitacional) distribución de puntos de medición (Gráfica de Isolux en planta) en cuarto nivel y planta de azoteas.	86
74:	(Edificio escolar) Corte longitudinal	64	101:	Luxómetro en el modelo a escala del edificio escolar (mediciones en el patio)	87
75:	(Edificio escolar) Montea solar	65	102:	Luxómetro en el modelo a escala del edificio escolar (mediciones en las aulas)	87
76:	(Edificio escolar) Nivel de confort lumínico	66	103:	Luxómetro en la azotea del edificio escolar.	87
77:	(Edificio escolar) Nivel de confort lumínico	66	104:	Fotómetro.	87
78:	(Edificio escolar) Nivel de confort lumínico	67	105:	(Edificio escolar) comportamiento de la iluminación natural en el modelo real.	88
79:	(Edificio escolar) Trazo retícula planta baja	68	106:	Escala cromática.	89
80:	(Edificio escolar) Trazo retícula planta tipo	69	107:	Niveles de iluminación planta baja edificio escolar.	90
81:	(Edificio escolar) Área con registro de niveles en planta baja	70	108:	Niveles de iluminación planta baja edificio escolar.	90
82:	(Edificio escolar) Salones del primer nivel (caso de estudio)	71	109:	Factor de día (patio de la Planta Baja del edificio escolar)	91
83:	(Edificio escolar) Ventanas orientadas a los pasillos del patio central	71	110:	Escala cromática.	92
84:	Plantas con la iluminación actual en salones tipo y Circulaciones	72	111:	Iluminación en día nublado en el edificio escolar modelo real	93
85:	Último nivel sin problemas de iluminación (circulación 04) laboratorios y talleres.	73	112:	Iluminación en día nublado en el edificio escolar modelo real, Gráfica en planta.	93
86:	(Edificio habitacional) Distribución arquitectónica (planta de sótano y primer nivel)	74	113:	Factor de día en el edificio escolar modelo Real	94
87:	(Edificio habitacional) Distribución arquitectónica (segundo y tercer nivel).	75	114:	Gráfica de lux en el edificio escolar modelo a escala	95
88:	(Edificio habitacional) Distribución arquitectónica (cuarto nivel y azotea).	76	115:	Gráfica de isolux, edificio escolar modelo a escala 2 de junio 2008	96
89:	(Edificio habitacional) cortes transversales y longitudinal con la sección de los cubos	77	116:	Gráfica de isolux, edificio escolar modelo a escala.	97
90:	(Edificio habitacional) montea solar de la latitud de los cubos de iluminación.	78	117:	Edificio escolar modelo a escala con gnomon y dos dispositivos	98
91:	(Edificio habitacional) Niveles de iluminación (sótano y primer nivel).	79			
92:	(Edificio habitacional) Tabla de niveles de confort visual.	79			
93:	(Edificio habitacional) Niveles de iluminación (2 ° y 3° nivel).	80			

Figura	Titulo	Página	Figura	Titulo	Página
118:	Edificio escolar modelo a escala con gnomon y dos dispositivos	98	140:	Gráfica en isolux del sótano del modelo a escala día despejado con dispositivo en acero inoxidable.	111
119:	Edificio escolar modelo a escala con dos dispositivos instalados de 90 cm.	99	141:	Gráfica en los niveles de lux en 3 dimensiones en modelo a escala día despejado con dispositivo en acero inoxidable.	111
120:	Edificio escolar modelo a escala con gnomon y dos dispositivo en el muro del pretil del patio con sombra.	99	142:	Gráfica del factor día en isolux del sótano del modelo a escala día despejado con dispositivo en acero inoxidable en acabado espejo.	112
121:	Edificio escolar modelo a escala con láser, reloj solar y dos dispositivo	100	143:	Gráfica del factor día en los niveles de lux en 3 dimensiones en modelo a escala día despejado con dispositivo	112
122:	Dispositivo láser en modelo a escala con dos dispositivos lumínicos	100	144:	Modelo a escala del edificio habitacional	113
123:	Reflexión a las 11:00 horas de marzo en el modelo a escala con dos dispositivos	101	145:	Modelo del dispositivo a escala 1:1, instalado en el edificio habitacional en los cubos de luz.	114
124:	Edificio escolar modelo a escala con el láser y dos dispositivos lumínicos	101	146:	Dispositivo lumínico de 91cm x 61cm en acero inoxidable en acabado espejo.	114
125	(A, B, C y D): Edificio escolar modelo a escala con láser y dos dispositivos lumínicos.	102	147:	Dispositivo lumínico de 91cm x 61cm en acero inoxidable en acabado espejo.	115
126:	Edificio escolar modelo a escala.	103	148:	Dispositivo lumínico de 91cm x 61cm en aluminio en acabado satinado.	115
127:	(A, B, y C): Gráfica del comportamiento de la luz en el exterior, maque del edificio habitacional en proceso y pruebas en el modelo a escala del edificio habitacional	104	149:	Dispositivo lumínico de 91cm x 61cm en acero inoxidable en acabado espejo.	115
128:	Gráfica de isolux del sótano del edificio habitacional.	105	150:	Dispositivo lumínico de 91cm x 61cm en aluminio en acabado satinado.	115
129:	Gráfica de niveles de lux en 3 dimensiones.	105	151:	Dispositivo lumínico de 91cm x 61cm en acero inoxidable en acabado espejo.	116
130:	Gráfica del factor día en isolux del sótano del edificio habitacional.	106	152:	(A, B, C y D): Gráficas de los niveles de iluminación y el factor día en el modelo a escala con el dispositivo en acero inoxidable acabado en espejo (especular).	118
131:	Gráfica del factor día en los niveles de lux en 3 dimensiones.	106	153:	(A, B, C y D): Comparación del Modelo real Contra el Modelo a escala con el Dispositivo en Acero Inoxidable en acabado espejo (especular) de 91 cm x 61 cm.	120
132:	Gráfica en isolux del sótano del edificio habitacional día nublado.	107	154:	Corte longitudinal del edificio escolar con el trazo de los rayos solares del mes de diciembre.	121
133:	Gráfica de los niveles de lux en 3 dimensiones día nublado.	107	155:	Corte longitudinal del edificio escolar con el trazo de los rayos solares y la reflexión de los mismos por el dispositivo en el mes de diciembre.	122
134:	Gráfica del factor día isolux del sótano del edificio habitacional día nublado.	108	156:	Corte del edificio escolar en el mes de Marzo-Septiembre sin y con el dispositivo.	123
135:	Gráfica del factor día de los niveles de lux en 3 dimensiones día nublado.	108	157:	Corte del edificio habitacional en el mes de Marzo-Septiembre con el dispositivo.	124
136:	Gráfica de isolux del sótano del modelo a escala día despejado.	109	158:	Corte del edificio habitacional en el mes de diciembre sin y con el dispositivo.	125
137:	Gráfica de los niveles de lux en 3 dimensiones en modelo a escala día despejado.	109			
138:	Gráfica del factor día en isolux del sótano del modelo a escala día despejado.	110			
139:	Gráfica del factor día en los niveles de lux en 3 dimensiones en día despejado.	110			

Figura	Titulo	Página	Tabla	Titulo	Página
159:	<i>Corte del edificio habitacional en el mes de marzo-septiembre sin y con el dispositivo.</i>	126	1:	<i>Características del sol</i>	8
160:	<i>Diseño industrial del dispositivo de manera preliminar, en acero inoxidable en acabado pulido o espejo (especular).</i>	127	2:	<i>Componentes químicos del sol</i>	10
161:	<i>Diseño industrial del dispositivo en 3ds.</i>	128	3:	<i>Espectro de la Radiación Electromagnética</i>	17
162:	<i>Detalles de la curva de la parábola.</i>	129	4:	<i>Espectro Electromagnético</i>	18
163:	<i>Detalle de sujeción y ajuste.</i>	129	5:	<i>Fuentes de iluminación en lux en el medio ambiente</i>	42
164:	<i>Modelo en 3ds del dispositivo.</i>	130	6:	<i>Irradiancia global y difusa en diferentes condiciones.</i>	46
165:	<i>Consumo de energía en Kw.</i>	134	7:	<i>Tabla de niveles de LUX en Patio de la planta baja (modelo real).</i>	89
166:	<i>Análisis del consumo energético.</i>	134	8:	<i>Factor de día (PB)</i>	91
167:	<i>Costo-beneficio.</i>	135	9:	<i>Tabla de Lux día nublado (real).</i>	92
168:	<i>Caso de estudio habitable.</i>	137	10:	<i>Factor de día en el edificio escolar modelo Real</i>	94
169:	<i>Caso de estudio no habitables.</i>	138	11:	<i>Tabla de lux en el edificio escolar modelo a escala</i>	95
			12:	<i>Factor día del modelo a escala ed. escolar</i>	97
			13:	<i>LUX en Patio de la planta baja (Dispositivo Satinado "Acero Inoxidable")</i>	117
			14:	<i>Comparación del Modelo real Contra el Modelo a escala con el Dispositivo</i>	119
			15:	<i>Presupuesto del dispositivo.</i>	131
			16:	<i>Matriz o explosión de insumos.</i>	132
			17:	<i>Análisis de datos generales.</i>	133
			18:	<i>Normatividad de los patios de iluminación.</i>	136

1.- Introducción

El alto consumo de energéticos fósiles va deteriorando el medio ambiente de nuestros ecosistemas; el uso de fuentes de energía como el petróleo, carbón y la leña produce grandes emisiones de gases tóxicos que se van concentrando en nuestra atmosfera y produciendo un efecto invernadero, por lo cual, se va incrementando la temperatura de la tierra y como resultado de este calentamiento se modifican los ciclos o temporadas de las estaciones, lo que quiere decir que hay precipitaciones pluviales en temporadas de sequía o tener fenómenos meteorológicos más agresivos o más intensos. El consumo de energéticos provenientes de los derivados del petróleo son fuentes de energía no renovables y perjudican el medio ambiente, por lo que se propone el uso de energías renovables para los diferentes usos o consumos humanos, como la radiación solar en escala humana es una fuente de energía inagotable y a pesar que un día el sol va a dejar de existir, la energía producida por este astro en un solo segundo de radiación solar es semejante a la energía producida por toda la historia de la humanidad la cual no utilizamos; el uso de maderas con talas controladas es otra fuente de energía renovable, etc.

El consumo de energía en las edificaciones se debe a los sistemas de alumbrado, enfriamiento y calentamiento para lograr situar a los usuarios en una franja de confort higro-termico y lumínico. Este consumo excesivo de energéticos empleados para el confort lumínico se podrá abatir con sistemas ahorradores y dispositivos de alta eficiencia, los cuales concentran la iluminación natural en los espacios habitables obteniendo una cantidad y calidad óptimas para el desarrollo de actividades diarias y particulares de los usuarios.

En las edificaciones de más de cuatro niveles usualmente se utilizan patios o cubos para obtener una iluminación y ventilación natural, pero en ciertos casos estos patios no cumplen con su fin y va perdiendo niveles de confort lumínicos. Es por lo cual surge la necesidad de crear un dispositivo que se pueda instalar en dichos patios y obtener los niveles de confort lumínico en los espacios orientados a los patios o cubos como se estable en el reglamento de construcción para el Distrito Federal o en los niveles de iluminación establecidos por instituciones internacionales como es el ***Illuminating Engineering Society of North America (IESNA)***.

Esta investigación se desarrolló en diez capítulos y unas conclusiones, en los que se va trabajando las bases conceptuales de un dispositivo de alta eficiencia para la concentración y transmisión de la iluminación natural a espacios habitables y espacios de servicio con niveles cualitativos y cuantitativos de la iluminación. Para esta investigación se plantearon dos casos de estudio, el primero es un edificio educativo de nivel secundaria, ubicado en la calle 5 de Febrero en la colonia Cuauhtémoc en el centro histórico de la Ciudad de México y el segundo caso es un edificio habitacional ubicado en la calle de Moliere en la colonia Polanco de la misma ciudad. Estos dos casos de estudio en su disposición arquitectónica se desarrolla un patio central en el caso de la secundaria y dos cubos de iluminación y ventilación para el edificio habitacional, en ambos casos se ubican espacios habitables y de servicio orientados a dichos patios pero los cuales no cumplen con los niveles de confort lumínico.

El primer capítulo se establece un marco teórico conceptual del estado del arte, sobre los principios básicos de la iluminación, la óptica del uso de la luz en la arquitectura, la fuente de energía en escala humana inagotable la cual es el sol, y los principios de la parábola la cual es la forma básica del diseño del dispositivo de alta eficiencia. El confort lumínico se mide en niveles de lux o anteriormente en pie-candela; esta medida o sistema de medición nos ayudó a establecer curvas de isolux para determinar el comportamiento de la luz y compararlo con niveles lumínicos establecidos, se analizó los tipos de contrastes y el deslumbramientos, las condiciones de cielo que fueron caso de estudio como (despejado, semi-nublado y nublado) y por último la normatividad aplicable para sistemas de iluminación natural y artificial, lo cual se desarrolla en el segundo capítulo.

Para obtener el dispositivo de alta eficiencia se estudiaron dispositivos existentes como se plasma en el tercer capítulo y dichos dispositivos son luminoductos, concentradores solares, conductos, fibra óptica, etc., pero estos sistemas ya tienen ciertas características y funciones muy particulares a su forma por lo cual no son aptos para la obtención, captación y transmisión a los espacios habitables orientados en los patios de una edificación. Por otro lado se estudiaron dispositivos similares o con el mismo principio los cuales son dispositivos especulares o reflectores, éstos se utilizan para la reflexión de los rayos solares en habitaciones subterráneas o para reflejar los rayos en un domo o claraboya aumentando los niveles de lux en sus habitaciones, por lo tanto el diseño de dispositivo lumínico desarrollado parte de las formas básicas de los dispositivos especulares pero con adecuaciones y un rediseño en forma para la adecuación e instalación en patios.

Se organizó una metodología de investigación para ejecutar las pruebas realizadas o sometidas al dispositivo en cuestión. Esta metodología partió en medir los niveles de iluminación en los casos de estudio en dos condiciones de cielo (nublado y despejado), realizar un modelo a escala de cada caso de estudio y calibrarlo de tal manera que las mismas características físicas y lumínicas fueran similares o iguales a los modelos reales, una vez ajustados los modelos a escala se comprobaron realizando las mismas mediciones que en el caso real y Gráficando los valores obtenidos y comparando los factores día de cada caso y modelo. Teniendo una certeza que el modelo a escala es similar o igual al caso de estudio se desarrolló el modelo a escala del dispositivo en varias formas, dimensiones y materiales para determinar el mejor. Una vez definida la forma, dimensión y material a emplear se instaló en el modelo a escala y se realizaron las mismas mediciones en las dos condiciones de cielo para tener tres gráficas de valores la primera del modelo real, la segunda del modelo a escala igual al modelo real y la gráfica del modelo a escala con el dispositivo instalado y observar el incremento cuantitativo de los niveles de iluminación medidos en lux.

Para determinar que la forma geométrica del dispositivo es la correcta se calculó con base en las leyes de la óptica y se trazó la parábola, la cual es la forma o curva del dispositivo de alta eficiencia. Una vez ajustado el dispositivo según las leyes de óptica se trazaron las líneas que simulan los rayos solares y se fueron trazando las reflexiones obtenidas para observar gráficamente que tan eficiente es el modelo.

Una vez probado y comprobado el dispositivo se desarrolló el modelo en diseño industrial con unos planos de taller y detalles constructivos para la fabricación del mismo, con estos planos se calculó el costo del dispositivo cotizando con una empresa dedicada a la fabricación de objetos en acero al carbón, aluminio y acero inoxidable, el cual es el material del dispositivo de alta eficiencia y con estos costos se determinó un costo beneficio a 25 años con un valor de fabricación del dispositivos es en acero inoxidable en acabado al alto brillo tipo espejo de \$16,000.00 pesos y tiene una vida útil de 25 años y un costo promedio de \$650.00 por año, abatiendo el gasto del equipo con el ahorro en el consumo eléctrico por el rubro de la iluminación.

2.- Estado del Arte de la luz y arquitectura

La humanidad consume combustibles fósiles para satisfacer sus necesidades, los cuales van deteriorando el medio ambiente, por lo que se plantea hacer uso de energías renovables y no contaminantes. El sol es una fuente de energía limpia, con un uso adecuado y eficiente en las edificaciones es una alternativa viable y sustentable, éste recurso irradia en un segundo más energía que la consumida por la humanidad en toda su historia por lo tanto el sol representa para la Tierra una fuente inagotable (Ibáñez, 2005). El consumo de los recursos energéticos fósiles va deteriorando los ecosistemas naturales y las ciudades son grandes emisoras de gases con efecto invernadero, (Figura 1).

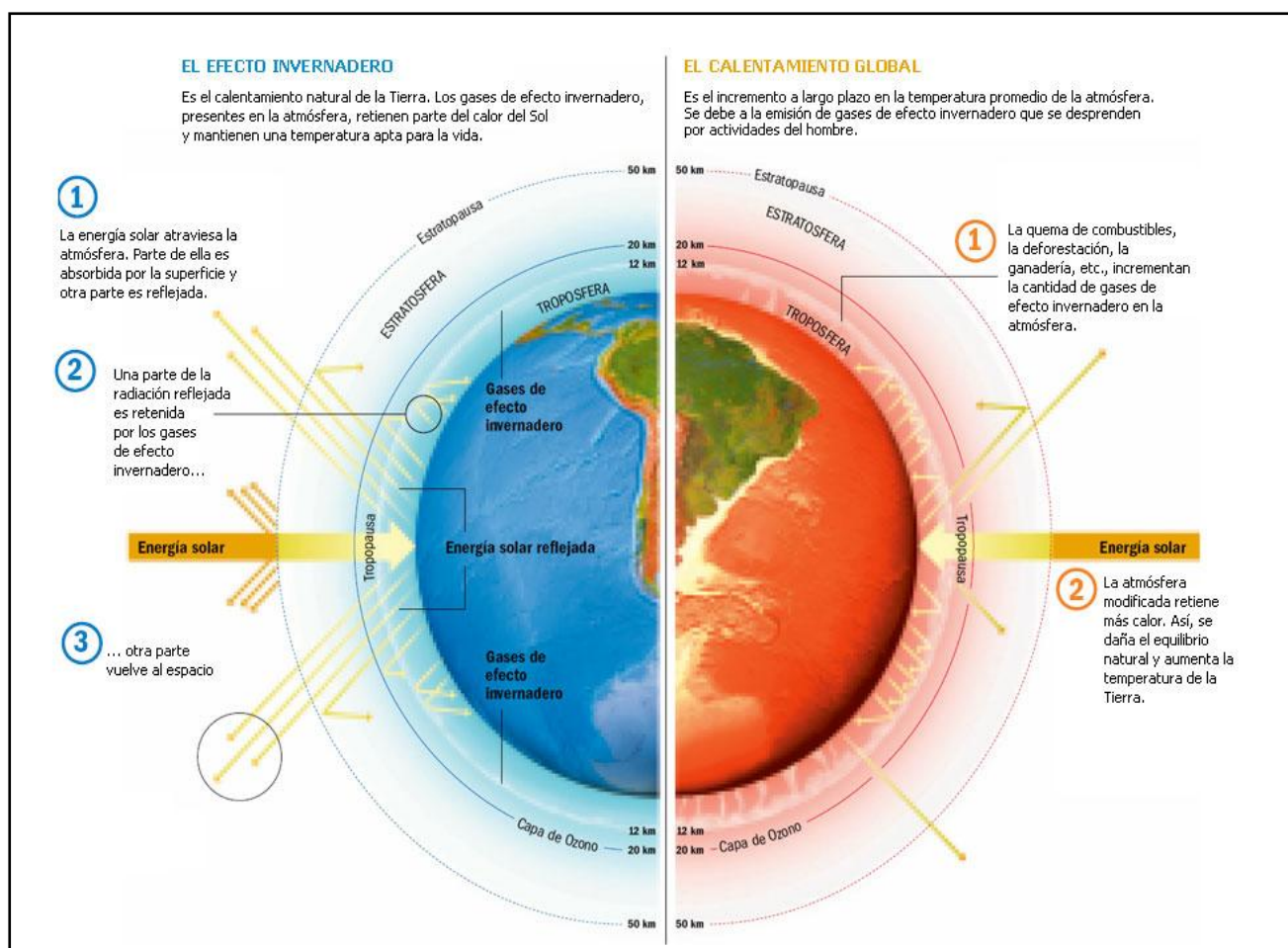


Figura 1: Efecto Invernadero

En la ciudad de México se construyen edificaciones en las cuales su mayor consumo de energía es por electricidad, este consumo se ve reflejado en el concepto de iluminación el cual se evitaría con la adecuada orientación y la superficie de vano necesaria para garantizar el confort de luz. En

ciertas construcciones debido a su altura y disposición arquitectónica se utilizan patios o cubos para satisfacer las necesidades del inmueble. Las habitaciones o locales orientados al patio garantizan la ventilación correcta y el confort lumínico y térmico para los usuarios de dichas habitaciones.

Para comprender la incidencia solar en el interior de las habitaciones por medio de patios o cubos en las edificaciones, se deben comprender los factores que atañen al tema como la trayectoria solar que se presenta a la vista del observador, un arco el cual va desde la salida del sol (orto) hasta su puesta (ocaso) (Ibáñez, 2005); la composición de la luz por medio de la onda electromagnética que se desplaza a una velocidad de 300,000 Km./seg.; el comportamiento de la luz interactuado con otros elementos (reflexiones y refracciones); las características físicas de los materiales de que se emplean en la construcción de los patios y los dispositivos creados para soluciones similares.

En el siglo XVII el Holandés Christian Huygens introdujo la teoría ondulatoria de la luz y Renato Descartes describió de forma matemática los conceptos de hipérbola y parábola. Estas dos teorías son fundamentales para aplicaciones en: álgebra, trigonometría, geometría analítica y la óptica, como lo describe en su libro Marco A. Flores Meyer y Swokowski en el libro **Álgebra y trigonometría con geometría analítica**, Agustín Anfossi de **Geometría analítica** y gracias a estos estudios se han determinado los *Principio de Huygens* y las *leyes de Lambert y Snell*, dichos principios y leyes son utilizados en el diseño de dispositivos de iluminación y concentración solar como lo menciona Szokolay en **Energía Solar y Edificación**¹ describiendo de forma detallada los: helióstatos, canales y platos parabólicos, con fines de concentrar la energía solar y dirigirla a un foco dentro de una del sistema y utilizar la energía en calentamiento de fluidos o fuentes de iluminación.

Sustentados en lo anterior, tenemos una fuente de energía térmica y lumínica a nuestro alcance con un recurso de 1000W/m^2 en la superficie de la tierra, los cuales no aprovechamos para satisfacer nuestras necesidades en cuestión del consumo energético y dejar a un lado el uso de los combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica.

¹ Libro del Arq. Steven Szokolay de 1980 Energía Solar y Edificación.

² Solo en días despejados.

2.1 Antecedentes históricos

A principios del siglo XVIII se creía que la luz estaba compuesta de pequeñas partículas. Fenómenos como la reflexión, la refracción y las sombras de los cuerpos, se podían esperar de torrentes de partículas. Como lo demostró Isaac Newton, (Figura 2), la refracción estaba provocada por el cambio de velocidad de la luz al cambiar de medio y trató de explicarlos diciendo que las partículas aumentaban su velocidad al aumentar la densidad del medio.



Figura 2: Isaac Newton

La teoría de Christian Huygens, (Figura 3) que en 1678 propuso que la luz era un fenómeno ondulatorio que se transmitía a través de un medio llamado éter. Esta teoría quedó olvidada hasta la primera mitad del siglo XIX, cuando Thomas Young explicó el fenómeno de las interferencias suponiendo que la luz fuese en realidad una onda. Otros estudios de la misma época explicaron fenómenos como la difracción y la polarización teniendo en cuenta la teoría ondulatoria.



Figura 3: Christian Huygens

En 1845, Michael Faraday descubrió que el ángulo de polarización de la luz se podía modificar aplicándole un campo magnético (efecto Faraday) (Figura 4), proponiendo dos años más tarde que la luz era una vibración electromagnética de alta frecuencia. James Clerk Maxwell, inspirado por el trabajo de Faraday, estudió matemáticamente estas ondas electromagnéticas y se dio cuenta de que siempre se propagaban a una velocidad constante, que coincidía con la velocidad de la luz, y de que no necesitaban medio de propagación ya que se autopropagaban. La confirmación experimental de las teorías de Maxwell eliminó las últimas dudas que se tenían sobre la naturaleza ondulatoria de la luz.

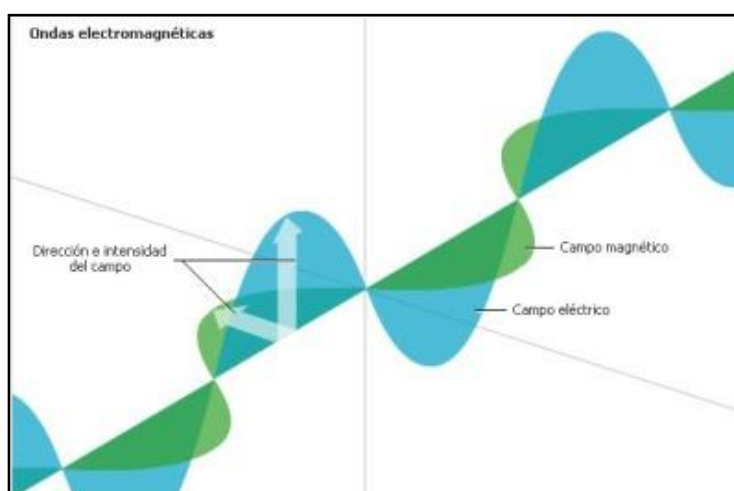


Figura 4: Efecto Faraday (Ondas electromagnéticas)

El manejo de luz en la arquitectura

La luz ha jugado un papel importante, y es un elemento característico en la vida del hombre, este elemento se ha integrado en el diseño de los espacios. Los egipcios utilizaron la luz para enfatizar la deidad como se logró en el templo de Ramsés 1279 al 1213 a.c (Figura 5) o en el Panteón de Agripa con el gran ocularium en el centro de la cúpula permitiendo entrar la iluminación natural, pero no solo se manipuló la luz en el interior como lo demostró la cultura maya en el castillo de Chichen-Itzá del Periodo Teocrático, que abarca desde los años 320 a 987 d.c (Figura 6).



Figura 5: Templo de Ramsés II



Figura 6: Castillo de Chichén Itzá, Cultura Maya

El Panteón del año 27 a.c (Figura 7) de Roma refleja todas estas características. Es uno de los edificios más importantes de la historia de la arquitectura occidental. Además su estado es excepcional, se conserva hasta la decoración interior. Su cúpula tiene 44 metros de diámetro - con igual altura-, la mayor construida en la antigüedad. El espacio diáfano interior es espectacular, **acentuado por la luz que entra por un gran orificio circular que se abre en su cúspide.** Se aúnan en este edificio, de una manera significativa, todas las habilidades, técnicas y estéticas del mundo romano, que fueron la base de la gran arquitectura del Renacimiento.

Podemos establecer varios apartados para el estudio de la arquitectura romana en España:

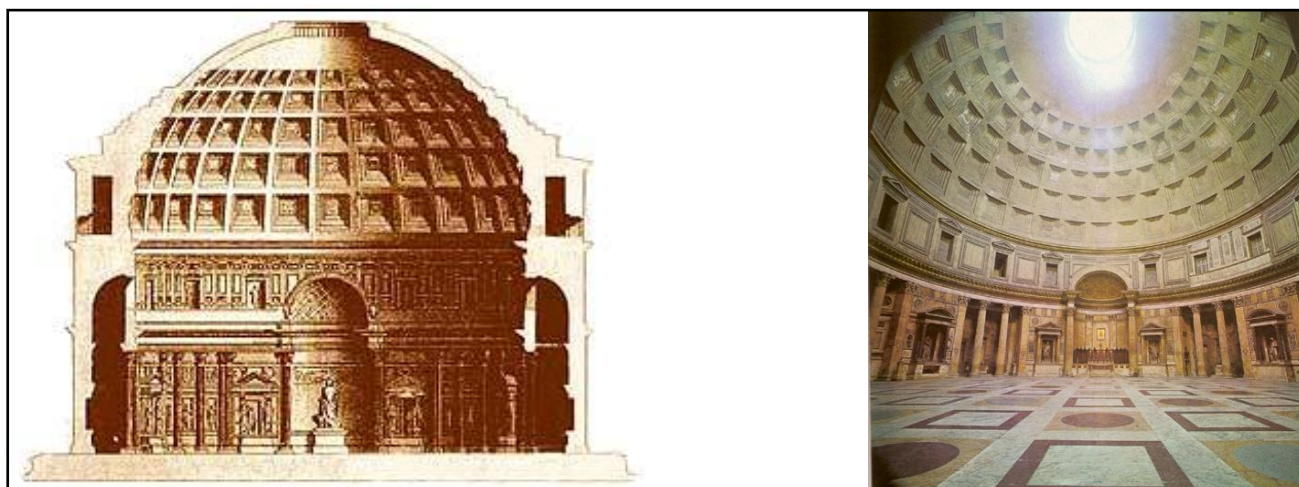


Figura 7 y 7a: Corte transversal del Panteón de Agripa, Roma y vista interior del mismo.

2.2 Características de la iluminación Solar

Es la estrella más cercana a la Tierra y el mayor elemento del Sistema Solar. Las estrellas son los únicos cuerpos del Universo que emiten luz. El Sol es también nuestra principal fuente de energía, que se manifiesta, sobre todo, en forma de luz y calor. El Sol contiene más del 99% de toda la materia del Sistema Solar. Ejerce una fuerte atracción gravitatoria sobre los planetas y los hace girar a su alrededor. El Sol se formó hace 4,650 millones de años y tiene combustible para 5,000 millones más. Después, comenzará a hacerse más y más grande, hasta convertirse en una gigante roja. Finalmente, se hundirá por su propio peso y se convertirá en una enana blanca, que puede tardar un trillón de años en enfriarse (tabla 1).

El periodo de rotación de la superficie del Sol va desde los 25 días en el ecuador hasta los 36 días cerca de los polos. Más adentro parece que todo gira cada 27 días. El Sol (todo el Sistema Solar) gira alrededor del centro de la Vía Láctea, nuestra galaxia. Da una vuelta cada 200 millones de años. Ahora se mueve hacia la constelación de Hércules a 19 Km. /s. Actualmente el Sol se estudia desde satélites, como el Observatorio Heliosférico³ y Solar (SOHO), dotados de instrumentos que permiten apreciar aspectos que, hasta ahora, no se habían podido estudiar.

Además de la observación con telescopios convencionales, se utilizan: el cronógrafo, que analiza la corona solar, (Figura 8) el telescopio ultravioleta extremo, capaz de detectar el campo magnético, y los radiotelescopios, que detectan diversos tipos de radiación que resultan imperceptibles para el ojo humano.

Datos básicos	El Sol	La Tierra
Tamaño: radio ecuatorial	695,000 Km.	6,378 Km.
Periodo de rotación sobre el eje	de 25 a 36 días *	23.93 horas
Masa comparada con la Tierra	332,830	1
Temperatura media superficial	6000 ° C	15 ° C
Gravedad superficial en la fotosfera	274 m/s ²	9.78 m/s ²

Tabla 1: Características del sol

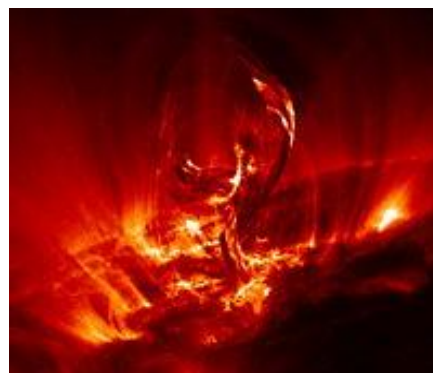


Figura 8: Superficie del sol (corona solar)

³ El Observatorio tiene la misión principal de estudiar, mediante la captación de imágenes en diversos rangos de luz, la superficie del Sol, su atmósfera y el entorno solar. Fue lanzado desde la Estación Aérea de Cabo Cañaveral el 2 de diciembre de 1995 a bordo de un cohete Atlas II-AS.

Estructura y composición del Sol

Desde la Tierra sólo vemos la capa exterior. Se llama fotosfera y tiene una temperatura de unos 6,000 °C, con zonas más frías (4,000 °C) que llamamos manchas solares. El Sol es una esfera que puede dividirse en capas concéntricas. De dentro a fuera son (Figura 9) (Tabla 2):

Núcleo: es la zona del Sol donde se produce la fusión nuclear debido a la alta temperatura, es decir, el generador de la energía del Sol.

Zona Radiactiva: las partículas que transportan la energía (fotones) intentan escapar al exterior en un viaje que puede durar unos 100,000 años debido a que estos fotones son absorbidos continuamente y remitidos en otra dirección distinta a la que tenían.

Zona Convectiva: en esta zona se produce el fenómeno de la convección, es decir, columnas de gas caliente ascienden hasta la superficie, se enfrían y vuelven a descender.

1.- Fotósfera: es una capa delgada, de unos 300 Km que es la parte del Sol que nosotros vemos, la superficie. Desde aquí se irradia luz y calor al espacio. La temperatura es de unos 5,000°C. En la fotosfera aparecen las manchas oscuras y las fáculas que son regiones brillantes alrededor de las manchas, con una temperatura superior a la normal de la fotósfera y que están relacionadas con los campos magnéticos del Sol.

2.- Cromosfera: sólo puede ser vista en la totalidad de un eclipse de Sol. Es de color rojizo, de densidad muy baja y de temperatura altísima, de medio millón de grados. Está formada por gases enrarecidos y en ella existen fortísimos campos magnéticos.

3.- Corona: capa de gran extensión, temperaturas altas y de bajísima densidad. Está formada por gases enrarecidos y gigantescos campos magnéticos que varían su forma de hora en hora. Esta capa es impresionante vista durante la fase de totalidad de un eclipse de Sol.

1.- Fotósfera.	Temperatura 600° C. Composición:	Espesor 200-300 Km. Gránulos brillantes Manchas solares Fáculas
2.- Cromósfera.	Espesor hasta 15,000 Km. Composición:	Flóculos Protuberancias Llamas cromosféricas
3.- Corona Solar	Espesor varios millones de kilómetros	

Componentes químicos del Sol	Símbolo	%	Componentes químicos del Sol	Símbolo	%
Hidrógeno	H	92.1	Hierro	Fe	0.0037
Helio	He	7.8	Silicio	Si	0.0031
Oxígeno	O	0.061	Magnesio	Mg	0.0024
Carbono	C	0.03	Azufre	S	0.0015
Nitrógeno	N	0.0084	Otros		0.0015
Neón	Ne	0.0076			

Tabla 2: Componentes químicos del sol

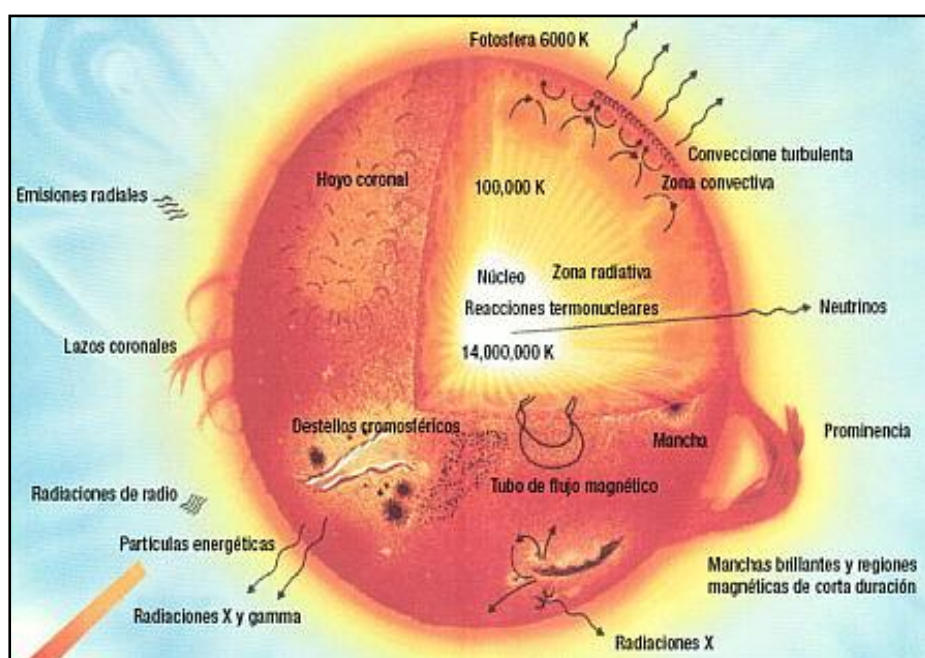
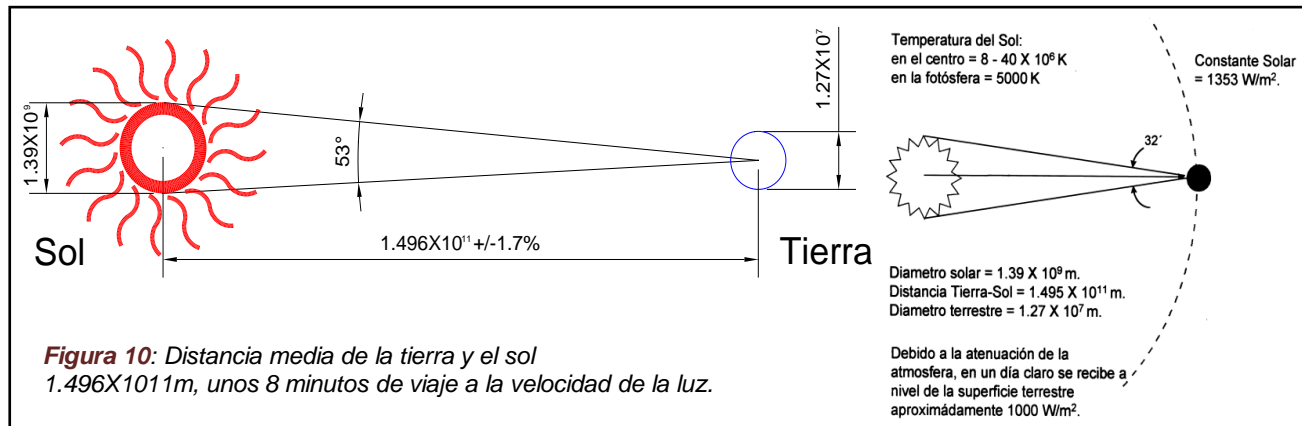


Figura 9: Estructura y composición del Sol 1.- Fotósfera, 2.- Cromósfera y 3.- Corona Solar

2.2.1 Físicas

El sol es una esfera de gases con reacciones nucleares, el cual tiene un diámetro de $1.39 \times 10^9 \text{ m}$ y la temperatura de la fotósfera es de 5777 K aproximadamente el núcleo equivale a un 23% del radio del sol el cual corresponde a un 15% del volumen del mismo en el que se concentra un 405 de la masa y se genera el

90% de la energía. Nuestro astro se encuentra a una distancia media de la tierra de $1.496 \times 10^{11} \text{ m}$, unos 8 minutos de viaje a la velocidad de la luz (Figura 10). El sol emite en un segundo más energía que la consumida por la humanidad en toda su historia (Ibáñez, 2005: 21) por lo que se considera una fuente de energía inagotable



La energía solar se crea en el interior del Sol, donde la temperatura llega a los 15 millones de grados, con una presión altísima, que provoca reacciones nucleares. Se liberan protones (núcleos de hidrógeno), que se funden en grupos de cuatro para formar partículas alfa (núcleos de helio). Cada partícula alfa pesa menos que los cuatro protones juntos. La diferencia se expulsa hacia la superficie del Sol en forma de energía. Un gramo de materia solar libera tanta energía como la combustión de 2.5 millones de litros de gasolina.

La energía generada en el centro del Sol tarda un millón de años para alcanzar la superficie solar. Cada segundo se convierten 700 millones de toneladas de hidrógeno en cenizas de helio. En el proceso se liberan 5 millones de toneladas de energía pura; por lo cual, el Sol cada vez se vuelve más ligero. El Sol también absorbe materia. Es tan grande y tiene tal fuerza que a menudo atrae a los asteroides y cometas que pasan cerca. Naturalmente, cuando caen al Sol, se desintegran y pasan a formar parte de la estrella.

Manchas Solares

Las manchas solares tienen una parte central oscura conocida como umbral, rodeada de una región más clara llamada penumbra. Las manchas solares son oscuras ya que son más frías que la fotosfera que las rodea. Las manchas son el lugar de fuertes campos magnéticos. La razón por la cual las manchas solares son frías no se entiende todavía, pero una posibilidad es que el campo magnético en las manchas no permite la convección debajo de ellas.

Las manchas solares generalmente crecen y duran desde varios días hasta varios meses. Las observaciones de las manchas solares revelaron primero que el Sol rota en un período de 27 días (visto desde la Tierra). El número de manchas solares en el Sol no es constante, y cambia en un período de 11 años conocido como el ciclo solar. La actividad solar está directamente relacionada con este ciclo.

Protuberancias solares

Las protuberancias solares son enormes chorros de gas caliente expulsados desde la superficie del Sol, que se extienden a muchos miles de kilómetros. Las mayores llamaradas pueden durar varios meses.

El campo magnético del Sol desvía algunas protuberancias que forman así un gigantesco arco. Se producen en la cromosfera que está a unos 100,000 grados de temperatura. Las protuberancias son fenómenos espectaculares. Aparecen en el limbo del Sol como nubes flameantes en la alta atmósfera y corona inferior y están constituidas por nubes de materia a temperatura más baja y densidad más alta que la de su alrededor.

Las temperaturas en su parte central son, aproximadamente, una centésima parte de la temperatura de la corona, mientras que su densidad es unas 100 veces la de la corona ambiente. Por lo tanto, la presión del gas dentro de una protuberancia es aproximadamente igual a la de su alrededor.

El viento solar

El viento solar es un flujo de partículas cargadas, principalmente protones y electrones, que escapan de la atmósfera externa del sol a altas velocidades y penetran en el Sistema Solar (Figura 11).



Figura 11: El viento solar

Algunas de estas partículas cargadas quedan atrapadas en el campo magnético terrestre girando en espiral a lo largo de las líneas de fuerza de uno a otro polo magnético. Las auroras boreales y australes son el resultado de las interacciones de estas partículas con las moléculas de aire. La velocidad del viento solar es de cerca de 400 kilómetros por segundo en las cercanías de la órbita de la Tierra. El punto donde el viento solar se encuentra que proviene de otras estrellas se llama helio pausa, y es el límite teórico del Sistema Solar. Se encuentra a unas 100 UA del Sol. El espacio dentro del límite del helio pausa, conteniendo al Sol y al sistema solar, se denomina heliósfera.

2.2.2 Geométrica y mecánica solar

El movimiento del sol será de la forma de un arco para la vista de un observador sobre la superficie de la Tierra (Ibáñez: 30) este arco se manifiesta desde su salida Orto hasta la puesta Ocaso a mitad de este arco a la vertical del observador se denomina cenit. La posición del Sol se puede referir en dos sistemas de coordenadas centradas en el observador, estas coordenadas determinan el vector solar entendido como un vector con origen en el observador y extremo en el Sol.

La proyección de la trayectoria solar en la bóveda celeste sobre un plano horizontal es conocida como proyección estereográfica o diagrama de la trayectoria solar (Figura 12).

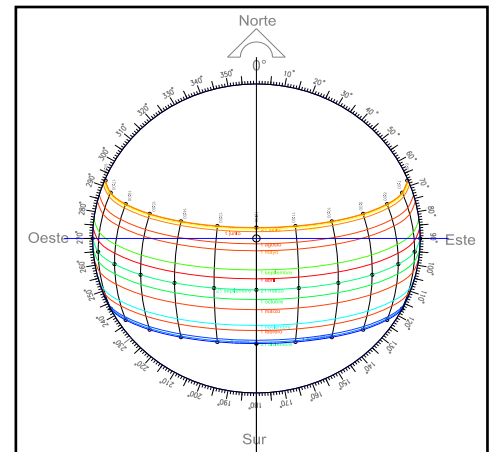


Figura 12: Gráfica Solar (Latitud 19° 25' 32'') centro del caso de estudio (Edificio educativo)

2.3.- La Luz

La luz es la sensación que se produce en los ojos las ondas electromagnéticas a grandes altitudes el cielo es totalmente oscuro conforme que la luz del sol viaja a través de la atmósfera, crece la luminosidad por efecto de la reflexión y refracción. A bajas altitudes al mediodía con un cielo despejado, un 60% de la iluminación es debido al cielo y un 40% a la luz del sol. Y a mayores altitudes disminuye el porcentaje de la luz del cielo y aumenta la luz del sol (Figura 13).

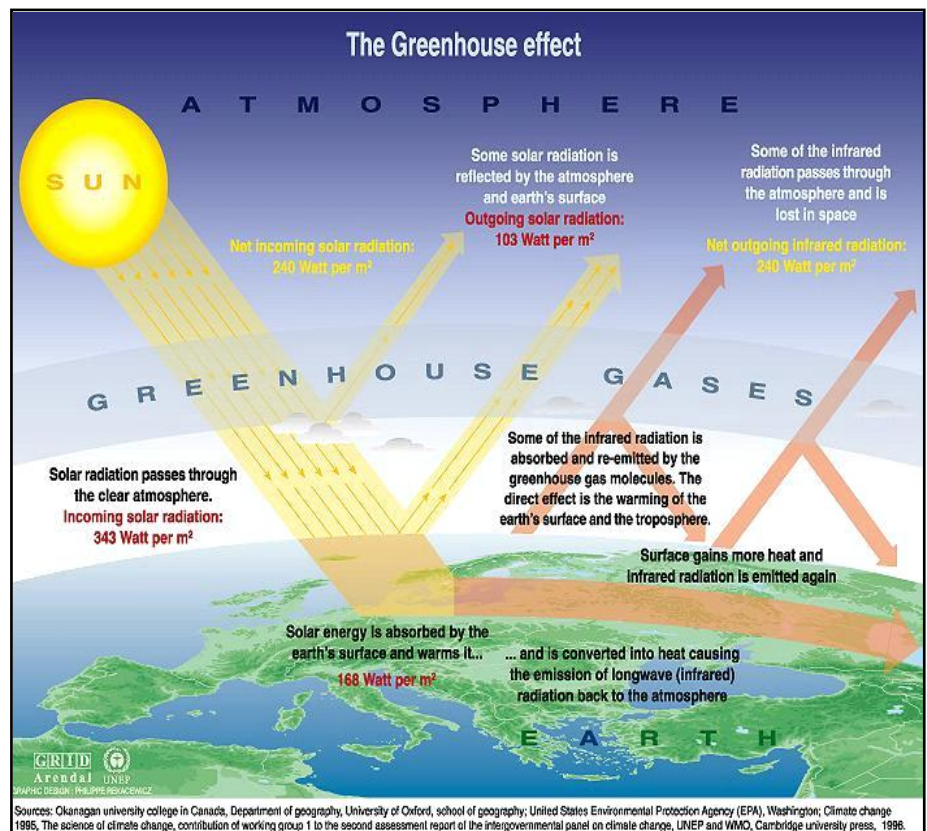


Figura 13: Efecto Invernadero (Fuente: College Okanagan, Canada)

2.3.1 Naturaleza de la Luz

Físicamente, la luz es una porción del espectro de radiaciones electromagnéticas (Savioli: 11); esta porción comprende diferentes tipos de Rayos como son: Cósmicos, X, Ultravioletas, Infrarrojos y Rayos de Luz visible también comprende dos tipos de ondas: de radio y las electromagnéticas. Los campos electromagnéticos transportan energía a través del espacio propagándose en forma de oscilaciones o vibraciones resultando energía radiante (Figura 14).



Figura 14: Descomposición de la Luz

Teoría ondulatoria

Esta teoría considera que la luz es una onda electromagnética (Figura 15), consistente en un campo eléctrico que varía en el tiempo generando a su vez un campo magnético y viceversa, ya que los campos eléctricos variables generan campos magnéticos (ley de Ampère) y los campos magnéticos variables generan campos eléctricos (ley de Faraday). De esta forma, la onda se auto-propaga indefinidamente a través del espacio, con campos magnéticos y eléctricos generándose continuamente. Estas ondas electromagnéticas son sinusoidales, con los campos eléctrico y magnético perpendiculares entre sí y respecto a la dirección de propagación. (\vec{k})

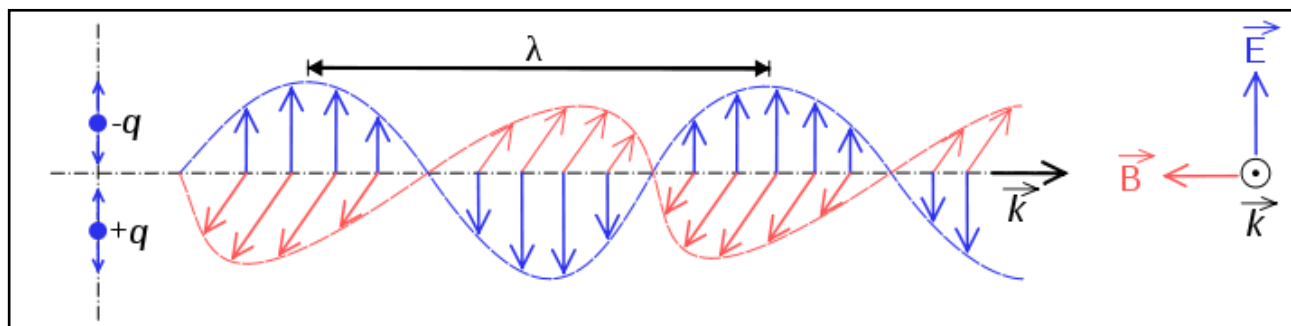


Figura 15: Vista lateral de una onda electromagnética (teoría ondulatoria).

Para describir una onda electromagnética se utilizan los parámetros habituales de cualquier onda:

- **Amplitud (A):** Es la longitud máxima respecto a la posición de equilibrio que alcanza la onda en su desplazamiento.
- **Periodo (T):** Es el tiempo necesario para el paso de dos máximos o mínimos sucesivos por un punto fijo en el espacio.
- **Frecuencia (ν):** Número de de oscilaciones del campo por unidad de tiempo. Es una cantidad inversa al periodo.
- **Longitud de onda (λ):** Es la distancia lineal entre dos puntos equivalentes de ondas sucesivas.
- **Velocidad de propagación (V):** Es la distancia que recorre la onda en una unidad de tiempo. En el caso de la velocidad de propagación de la luz en el vacío, se representa con la letra c .

Teoría corpuscular de Newton

La teoría corpuscular estudia la luz como si se tratase de un torrente de partículas sin carga y sin masa llamadas **fotones**, capaces de portar todas las formas de radiación electromagnética. Esta interpretación resurgió debido a que, la luz, en sus interacciones con la materia, intercambia energía sólo en cantidades discretas (múltiplos de un valor mínimo) de energía denominada cuantos. Este hecho es difícil de combinar con la idea de que la energía de la luz se emita en forma de ondas, pero es fácilmente visualizado en términos de corpúsculos de luz o fotones, teoría de *Max Karl Ernest Ludwig Planck* (Figura 16).



Figura 16: Max Karl Ernest Ludwig Planck (Kiel, Alemania, 1858–1947)

Fenómenos corpusculares

Existen tres efectos que demuestran el carácter corpuscular de la luz. Según el orden histórico, el primer efecto que no se pudo explicar por la concepción ondulatoria de la luz fue **la radiación del cuerpo negro**.

2.3.2 Espectro electromagnético

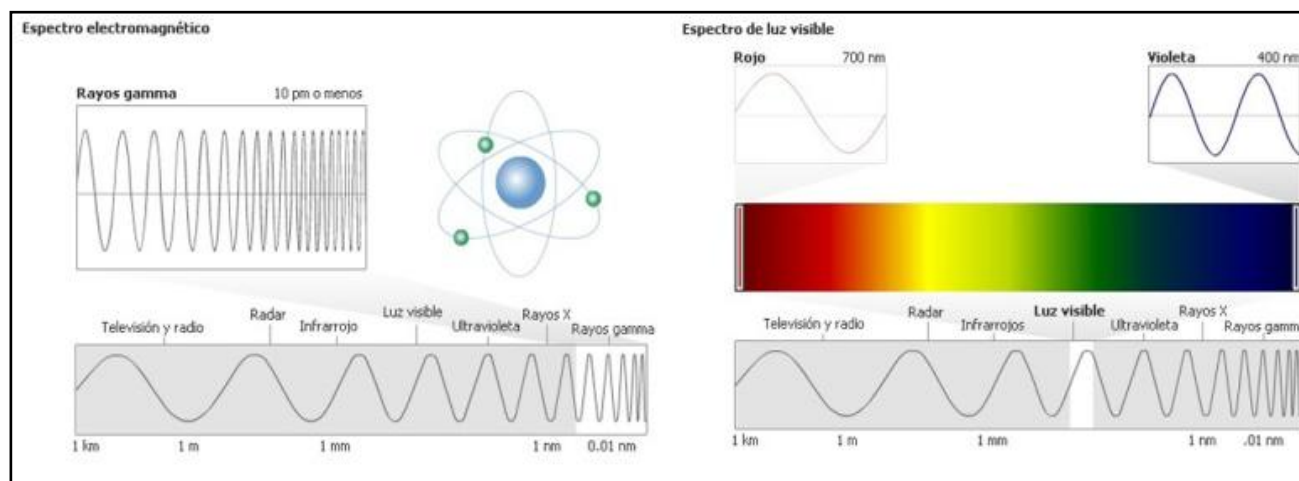


Figura 17: Espectro electromagnético

Se denomina espectro electromagnético (Figura 17) a la distribución energética del conjunto de las ondas electromagnéticas o, más concretamente, a la radiación electromagnética que emite (espectro de emisión) o absorbe (espectro de absorción) una sustancia. Dicha radiación sirve para identificar la sustancia de manera análoga a una huella dactilar. Los espectros se pueden observar mediante espectroscopios que, además de permitir observar el espectro, permiten realizar medidas sobre éste, como la longitud de onda o la frecuencia de la radiación.

Van desde las de menor longitud de onda, como son los rayos cósmicos, los rayos gamma y los rayos X, pasando por la luz ultravioleta, la luz visible y los rayos infrarrojos, hasta las ondas electromagnéticas de mayor longitud de onda, como son las ondas de radio. En cualquier caso, cada una de las categorías son: de ondas de variación de campo electromagnético. El espectro solar visible, de acuerdo a la teoría electromagnética, es la corriente que circula produciendo calor y emite radiaciones electromagnéticas, dicho espectro contiene diferentes tipos de radiación, producto de fenómenos vibratorios que tienen igual velocidad, pero diferentes frecuencias y longitudes de onda.

Las ondas de radiación electromagnética (Figura 18) se componen de crestas y valles, convencionalmente las primeras hacia arriba y las segundas hacia abajo. La

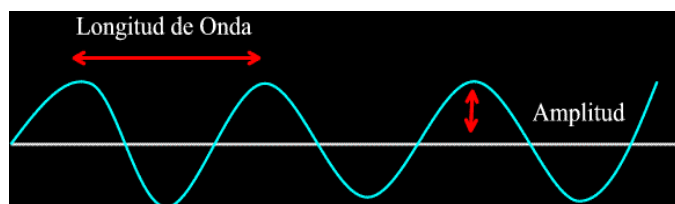


Figura 18: Longitud y Amplitud de Onda

distancia entre dos crestas o valles se denomina longitud de onda (λ). La frecuencia de la onda está determinada por las veces que ella corta la línea de base en la unidad de tiempo (casi siempre medida en segundos), esta frecuencia es tan importante que las propiedades de la radiación dependen de ella y está dada en Hertz. La amplitud de onda está definida por la distancia que separa el pico de la cresta o valle de la línea de base (A). La energía que transporta la onda es proporcional al cuadrado de la amplitud. La unidad de medida para expresar semejantes distancias tan pequeñas es el nanómetro (10^{-9} metros).

La luz visible, es decir las ondas electromagnéticas para las cuales el ojo humano está adaptado, se encuentran entre longitudes de onda entre los 400 nm (violeta) y 700 nm (rojo). Como lo predijeron las ecuaciones de Maxwell existen longitudes de onda por encima y por debajo de estos límites. Estas formas de "luz invisible" se han encontrado y organizado de acuerdo con sus longitudes de onda en el espectro electromagnético (Figura 19) (Tabla 3 y 4).

Espectro de la Radiación electromagnética y acústica			
Frecuencia HZ.		Nomenclatura	Efectos a personas
Ondas Hertzianas Naturaleza Electromagnética	10^{22}	Radiación Cósmica	Se produce acumulación de los niveles de radiación en el organismo. Perjuicios proporcionales a los niveles de acumulación.
	10^{20-22}	Rayos	
	10^{17-20}	Rayos x	
	10^{15-17}	Radiación Ultravioleta	
	10^{15}	Luz Visible	Sensible a la retina
	10^{13-15}	Radiación Infrarroja	Transformación en calor en el interior del cuerpo
	10^{9-13}	SHC Microondas	
	10^{8-9}	UHF Ultra Alfa Frecuencia	
	10^{7-8}	VHF (FM Frecuencia Modulada)	Atraviesa el organismo sin efectos
	10^{6-7}	HF Onda Corta	
	10^5	MF Onda Media	
	10^5	LF Onda Larga	

Tabla 3: Espectro de la Radiación Electromagnética (Fuente: wikipedia.org –Radiación electromagnética-)

Espectro Electromagnético (Longitud de onda (m) Frecuencia (Hz) Energía (J))

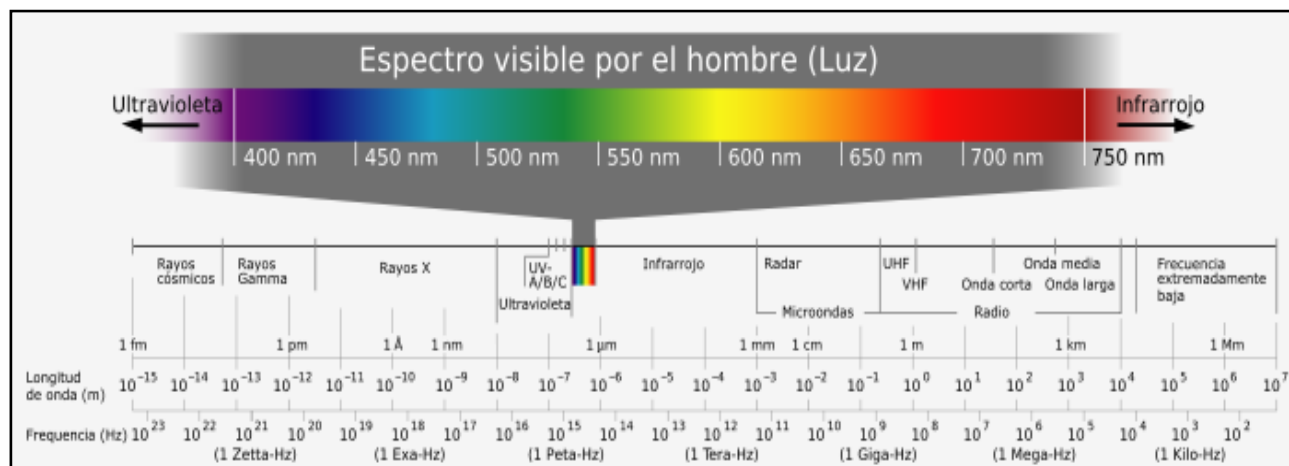


Figura 19: Luz visible (ondas electromagnéticas)

Espectro Electromagnético	Longitud de onda (m)	Frecuencia (Hz)	Energía (J)
Rayos gamma	< 10 pm	>30.0 EHz	>19.9E-15 J
Rayos X	< 10 nm	>30.0 PHz	>19.9E-18 J
Ultravioleta Extremo	< 200 nm	>1.5 PHz	>993E-21 J
Ultravioleta Cercano	< 380 nm	>789 THz	>523E-21 J
Luz Visible	< 780 nm	>384 THz	>255E-21 J
Infrarrojo Cercano	< 2.5 µm	>120 THz	>79.5E-21 J
Infrarrojo Medio	< 50 µm	>6.00 THz	>3.98E-21 J
Infrarrojo Lejano/sub milimétrico	< 1 mm	>300 GHz	>199E-24 J
Microondas	< 30 cm	>1.0 GHz	>1.99e-24 J
Ultra Alta Frecuencia Radio	<1 m	>300 MHz	>1.99e-25 J
Muy Alta Frecuencia Radio	<10 m	>30 MHz	>2.05e-26 J
Onda Corta Radio	<180 m	>1.7 MHz	>1.13e-27 J
Onda Media Radio	<650 m	>650 kHz	>4.31e-28 J
Onda Larga Radio	<10 km	>30 kHz	>1.98e-29 J
Muy Baja Frecuencia Radio	>10 km	<30 kHz	<1.99e-29 J

Tabla 4: Espectro Electromagnético (Longitud de onda (m) Frecuencia (Hz) Energía (J))

División del Espectro electromagnético

Luz Visible. Isaac Newton fue el primero en descomponer la luz visible blanca del Sol en sus componentes mediante la utilización de un prisma. La luz blanca está constituida por la combinación de ondas que tienen energías semejantes sin que alguna predomine sobre las otras. La radiación visible va desde 384×10^{12} hasta 769×10^{12} Hz. Las frecuencias más bajas de la luz visible (longitud de onda larga) se perciben como rojas y las de más alta frecuencia (longitud corta) aparecen violetas.

Rayos infrarrojos. La radiación infrarroja fue descubierta por el astrónomo William Herschel (1738-1822) en 1800, al medir una zona más caliente más allá de la zona roja del espectro visible. La radiación infrarroja se localiza en el espectro entre 3×10^{11} Hz. hasta aproximadamente los 4×10^{14} Hz. La banda infrarroja se divide en tres secciones de acuerdo a su distancia a la zona visible: próxima (780 - 2500 nm), intermedia (2500 - 50000 nm) y lejana (50000 - 1mm). Toda molécula que tenga un temperatura superior al cero absoluto (-273° K) emite rayos infrarrojos y su cantidad está directamente relacionada con la temperatura del objeto.

Microondas. La región de las microondas se encuentra entre los 109 hasta aproximadamente 3×10^{11} Hz (con longitud de onda entre 30 cm a 1 mm).

Ondas de Radio.

Heinrich Hertz (1857-1894), en el año de 1887, consiguió detectar ondas de radio que tenían una longitud del orden de un metro. La región de ondas de radio se extiende desde algunos Hertz hasta 109 Hz con longitudes de onda desde muchos kilómetros hasta menos de 30 cm.

Rayos X. En 1895 Wilhelm Rontgen inventó una máquina que producía radiación electromagnética con una longitud de onda menor a 10 nm.

Radiación Ultravioleta. Sus longitudes de onda se extienden entre 10 y 400 nm más cortas que las de la luz visible.

Rayos Gamma. Se localizan en la parte del espectro que tiene las longitudes de onda más pequeñas entre 10 y 0.01 nm.

Al analizar el espectro proveniente de la luz de un gas o estrella se pueden apreciar "huecos" en el espectro estudiado (líneas espectrales de absorción) (Figura 20), corresponden a las longitudes de onda absorbidas por el átomo. Igualmente al estudiar material incandescente podremos ver espectros con líneas característicamente brillantes a las que se denominan líneas de emisión. Las moléculas también emiten y absorben radiación en longitudes características, una de las utilizadas en astronomía es la emisión de 21 cm de las moléculas de hidrógeno.

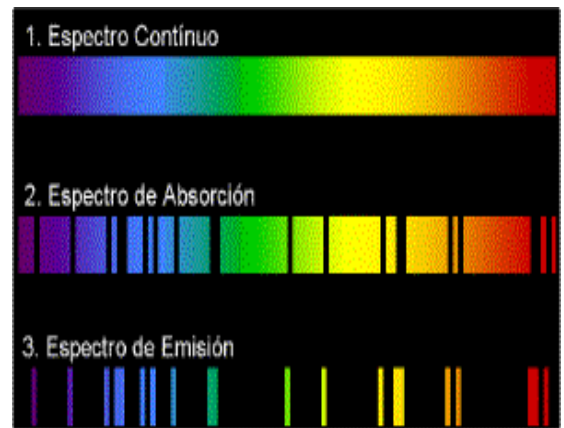


Figura 20: Líneas espectrales de absorción

2.3.3 Parámetros lumínicos

En Fotometría⁴, la iluminancia⁵ (E) es la cantidad de flujo luminoso emitido por una fuente de luz que incide, atraviesa o emerge de una superficie por unidad de área. Su unidad de medida en el SI es el Lux: 1 Lux = 1 Lumen/m².

En general, la iluminancia se define según la siguiente expresión:

$$E_V = \frac{dF}{dS}$$

Donde:

E_V es la iluminancia, medida en lux.

F es el flujo luminoso, en lux.

dS es el elemento diferencial de área considerado, en metros cuadrados.

La iluminancia se puede definir a partir de la magnitud radiométrica de la Irradiancia sin más que ponderar cada longitud de onda por la curva de sensibilidad del ojo. Así, si E_V es la iluminancia, E_λ representa la Irradiancia espectral y $V(\lambda)$ simboliza la curva de sensibilidad del ojo, entonces:

$$E_V = K \int_{visible} E(\lambda) V(\lambda) d\lambda$$

⁴ Medida de la luz y cantidades asociadas

⁵ "Densidad" de la luz (lúmenes/área) que incide en una superficie, es decir, el nivel de luz de la misma. La iluminancia se mide en bujías-pie o lux.

Tanto la iluminancia como el nivel de iluminación se pueden medir con un aparato llamado fotómetro. A la iluminancia que emerge de una superficie por unidad de área también se le denomina emitancia luminosa (M_V). Para la medición de los niveles de iluminancia también se usa el equipo llamado luxómetro.

La luz, al igual que las ondas de radio, los rayos X o los gamma es una forma de energía. Si la energía se mide en joules (J) en el Sistema Internacional, para qué necesitamos nuevas unidades. La razón es más simple de lo que parece. No toda la luz emitida por una fuente llega al ojo y produce sensación luminosa, ni toda la energía que consume, por ejemplo, una bombilla se convierte en luz. Todo esto se ha de evaluar de alguna manera y para ello definiremos nuevas magnitudes: el flujo luminoso, la intensidad luminosa, la iluminancia, la luminancia, el rendimiento o eficiencia luminosa y la cantidad de luz.

Se define el flujo luminoso como la potencia (W) emitida en forma de radiación luminosa a la que el ojo humano es sensible. Su símbolo es Φ y su unidad es el lumen (lm). A la relación entre Watts y lúmenes se le llama equivalente luminoso de la energía y equivale a:

$$1 \text{ Watts-luz a } 555 \text{ nm} = 683 \text{ lm}$$

Su unidad es el **lux** o lm/m^2 y se puede medir con el luxómetro, que consiste en un sensor o cédula fotoeléctrica cuya variación de resistencia es consecuencia del nivel de iluminación recibido, variación que se refleja en un medidor analógico de aguja o numérico digital.

Intensidad luminosa

En fotometría, la **intensidad luminosa** se define como la cantidad de flujo luminoso que emite una fuente por unidad de ángulo sólido. Su unidad de medida en el Sistema Internacional de Unidades es la candela (cd), que es una unidad fundamental del sistema. Matemáticamente, su expresión es la siguiente:

$$I_V = \frac{dF}{d\Omega}$$

- I_V es la intensidad luminosa, medida en candelas.
- F es el flujo luminoso, en lúmenes.
- $d\Omega$ es el elemento diferencial de ángulo sólido, en estereorradianes.

La intensidad luminosa se puede definir a partir de la magnitud radiométrica de la intensidad radiante sin más que ponderar cada longitud de onda por la curva de sensibilidad del ojo. Así, si I_v es la intensidad luminosa, $I(\lambda)$ representa la intensidad radiante espectral y $V(\lambda)$ simboliza la curva de sensibilidad del ojo, entonces:

$$I_v = K \int_{\text{visible}} I(\lambda) V(\lambda) d\lambda$$

Intensidad luminosa y diferentes tipos de fuentes

En fotometría, se denomina fuente puntual a aquella que emite la misma intensidad luminosa en todas las direcciones consideradas. Un ejemplo práctico sería una lámpara fsdf. Por el contrario, se denomina fuente o superficie reflectora de Lambert a aquella en la que la intensidad varía con el coseno del ángulo entre la dirección considerada y la normal a la superficie (o eje de simetría de la fuente).

Unidades

Una candela se define como la intensidad luminosa de una fuente de luz monocromática de 540 THz que tiene una intensidad radiante de 1/683 vatios por estereorradián, o aproximadamente 1.464 mW/sr. La frecuencia de 540 THz corresponde a una longitud de onda de 555 nm, que se corresponde con la luz verde pálida cerca del límite de visión del ojo. Ya que hay aproximadamente 12.6 estereorradianes en una esfera, el flujo radiante total sería de aproximadamente 18.40 mW, si la fuente emitiera de forma uniforme en todas las direcciones. Una vela corriente produce con poca precisión una candela de intensidad luminosa.

En 1881, Jules Violle propuso la *Violle* como unidad de intensidad luminosa. Fue la primera unidad de intensidad que no dependía de las propiedades de una lámpara determinada. Sin embargo, fue sustituida por la candela en 1946.

Luminancia

En Fotometría, la **luminancia** se define como la densidad angular y superficial de flujo luminoso que incide, atraviesa o emerge de una superficie siguiendo una dirección determinada. Alternativamente, también se puede definir como la densidad superficial de intensidad luminosa en una dirección dada.

$$L_V = \frac{d^2 F}{dS d\Omega \cos \theta}$$

- L_V es la luminancia, medida en candelas /metro².
- F es el flujo luminoso, en lúmenes.
- dS es el elemento de superficie considerado, en metros².
- $d\Omega$ es el elemento de ángulo sólido, en estereorradianes.
- θ es el ángulo entre la normal de la superficie y la dirección considerada.

La luminancia se puede definir a partir de la magnitud radiométrica de la radiancia sin más que ponderar cada longitud de onda por la curva de sensibilidad del ojo. Así, si L_V es la luminancia, L_λ representa la radiancia espectral y $V(\lambda)$ simboliza la curva de sensibilidad del ojo, entonces:

$$L_V = K \int_{visible} L(\lambda) V(\lambda) d\lambda$$

De forma no rigurosa, se puede considerar que el equivalente psicológico de la luminancia es el "brillo". Por ejemplo, considerando el caso de la emisión o reflexión de luz por parte de superficies planas y difusas, la luminancia indicaría la cantidad de flujo luminoso que el ojo percibiría para un punto de vista particular. En este caso, el ángulo sólido que interesa es el subtendido por la pupila del ojo.

En una transmisión de señal de vídeo, la luminancia es la componente que codifica la información de luminosidad de la imagen. En términos generales, es algo muy similar a la versión en blanco y negro de la imagen original. Luminancia y crominancia combinadas proporcionan la señal denominada señal de vídeo compuesto, utilizada en multitud de aplicaciones; o transmitirse independientemente. Forman parte de la codificación de vídeo en los estándares de TV NTSC y PAL, entre otros.

Es un término comúnmente utilizado en el procesamiento digital de imágenes para caracterizar a cada píxel. En el sistema de color RGB, la luminancia Y de un píxel se calcula con la expresión matemática:

$$Y = 0,299R + 0,587G + 0,114B$$

Temperatura de color

La **Temperatura de color** de una fuente de luz se define comparando su color dentro del espectro luminoso con el de la luz que emitiría un Cuerpo Negro calentado a una temperatura determinada. Por este motivo esta **temperatura de color** (Figura 21), generalmente se expresa en kelvin, a pesar de no reflejar expresamente una medida de temperatura.

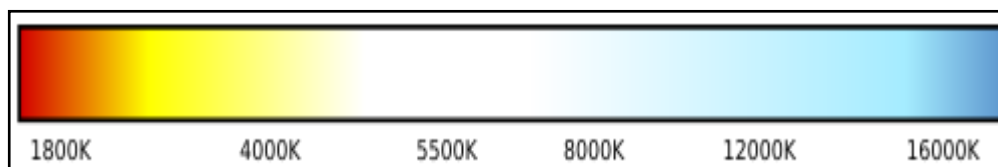


Figura 21: Temperatura de color.

Generalmente no es perceptible a simple vista, sino mediante la comparación directa entre dos luces como podría ser la observación de una hoja de papel normal bajo una luz de tungsteno (lámpara incandescente) y a otra bajo la de un tubo fluorescente (luz de día) simultáneamente.

- 1850 K: Luz de vela
- 2800 K: Luz incandescente o de tungsteno (iluminación doméstica convencional)
- 3200 K: Tungsteno (iluminación profesional)
- 5500 K: Luz de día, flash electrónico (aproximado)
- 5770 K: Temperatura de color de la luz del sol pura
- 6420 K: Lámpara de Xenón
- 28000 - 30000 K: Relámpago[1]

2.4 Conceptos geométricos y ópticos

El postulado general de la óptica geométrica es la propagación rectilínea de la luz, es decir dedica al estudio de la luz como si fueran rayos rectilíneos sin tener en cuenta ni su naturaleza ni su velocidad.

La consecuencia del hecho de tomar a la luz en estos sentidos no es ni más ni menos que

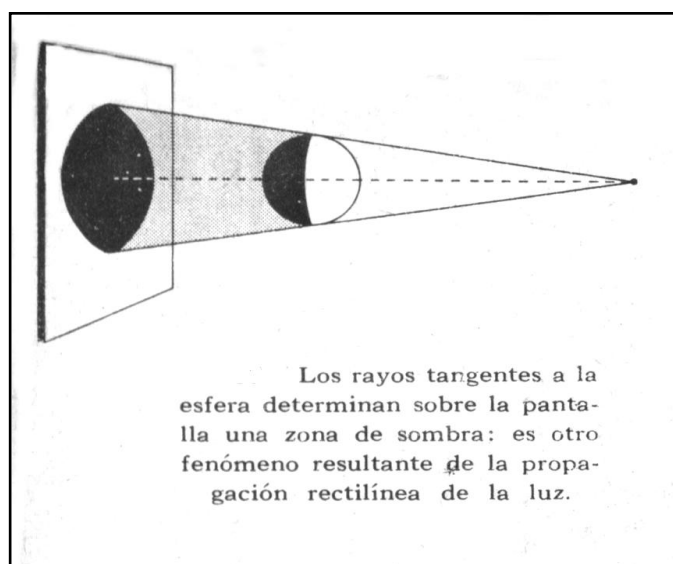


Figura 22: Sombras y penumbras

la formación de **sombras y penumbras** (Figura 22), y la formación de éstas dependen del tipo de fuente luminosa:

Fuente luminosa puntual:

es aquella que se supone que es ínfimamente pequeña por consiguiente cualquier cuerpo opaco colocado entre la misma y una pantalla, además de quedar en sombra parte del cuerpo, formará en la pantalla una sombra de igual forma al cuerpo (si es una esfera formará un círculo) y tamaño proporcional a las distancias existentes entre las tres. Si el cuerpo es una esfera podríamos explicar esto diciendo que los rayos tangentes a la superficie de la esfera forman un cono, llamado cono de sombra, el cual tiene base (o sección) en la pantalla; de este modo los rayos inferiores a la superficie cónica no pasan y los inferiores si lo hacen formándose la sombra.

2.4.1 Propiedades ópticas de la materia

Cuando una radiación luminosa incide directamente sobre un material cualquiera se produce en general tres fenómenos diferenciados en el comportamiento ante la luz, cuya magnitud puede servir a su vez como característica diferenciador del resto. La reflexión o cualidad superficial de devolver al espacio la luz recibida; la transmisión o facilidad de una sustancia para ser atravesada por la luz mediante sucesivas refracciones; y la Absorción por la que una parte de la radiación recibida se retiene en el interior del material, disipándose normalmente en forma de calor. De modo que el flujo total emitido es igual a la suma de los tres flujos resultantes.

Reflexión. En función de la textura de una superficie se puede producir tres tipos de reflexión entre acabado pulido y el rugoso.

Reflexión regular o especular. Es aquella en que el rayo incide y el reflejado están en un mismo plano, y el ángulo de incidencia α_i es igual al ángulo de reflexión α_r . Se produce en todas las superficies pulimentadas y en los espejos propiamente dichos.

Reflexión difusa. No cumple las condiciones anteriores ya que se produce en las superficies rugosas, cuyas partículas están orientadas en distintos planos. La reflexión se hace por tanto en función de esa variedad de planos y texturas de las que son ejemplos el papel blanco, la nieve los enlucidos de yeso y un larguísimo etcétera.

Reflexión mixta. Es aquella en la que por las características del material se combinan la reflexión regular y la difusa. Pudiendo darse situaciones calificadas como principalmente regular y principalmente difusas.

Estos comportamientos son perfectamente mensurables si conocemos los flujos luminosos incidentes y reflejados. Su repercusión es de extraordinaria importancia de la iluminación de espacios, en los que las posibles reflexiones de los parámetros influyen decisivamente en los resultados finales de cualquier cálculo.

Así se llega al concepto de **reflectancia** o **factor de reflexión** que sería el cociente entre el *flujo reflejado* y el *incidente*, expresado según la fórmula siguiente:

$$\rho = \frac{\Phi_r}{\Phi_o} \leq 1$$

Siendo Φ_r flujo reflejado, Φ_o el flujo incidente y ρ el valor de la reflectancia, que es un dato característico del material que naturalmente no puede ser mayor de la unidad.

La **refracción** puede considerarse como un flujo transmitido de un primer a un segundo medio con un cambio en la dirección del rayo incidente debido al inevitable cambio de velocidad.

Se llama **Índice de Refracción** a la razón entre los senos del ángulo de incidencia y el de refracción, constituyendo una característica más de cada material transparente $R = \sin \alpha_i / \sin \alpha_r$

Transmisión. En función de la mayor o menor transparencia de un material se puede discriminar tres tipos diferentes de transmisión luminosa.

Transmisión regular. Se produce cuando el haz de luz incide es igual al que resulta después de atravesar el medio, con ángulos de incidencia y transmisión iguales. Se produce en los llamados cuerpos transparentes como el típico vidrio normal.

Transmisión difusa. Acontece cuando el haz incide atraviesa el medio y se propaga de modo disperso en múltiples direcciones. Se produce en los denominados cuerpos traslúcidos como el conocido vidrio traslúcido.

Transmisión mixta. Se trata de una mezcla de los fenómenos anteriores en el caso de cuerpos que no son perfectamente transparentes ni estrictamente difusos. Son ejemplos los cristales labrados, vidrios orgánicos etc.

De forma similar a la **reflectancia** surge el concepto de **transmitancia** o **factor de transmisión** como la relación entre los flujos transmitido e incidente. Su concentración en la formula siguiente:

$$t = \frac{\Phi_r}{\Phi_0} \leq 1$$

Siendo Φ_r flujo transmitido, Φ_0 el flujo incidente y t el valor de la transmitancia, que es igualmente un dato característico del material y tampoco puede ser mayor de la unidad.

2.4.2 Reflexión

Este es uno de los fenómenos ópticos más sencillos. Si nosotros encendiéramos una linterna apuntándole a una **superficie pulida** (espejo) veríamos como el haz de luz producido por la linterna rebota y vuelve dirigiéndose por ejemplo hacia una pared.

Entonces tomando una recta de referencia normal (N) perpendicular al espejo tenemos un rayo incidente (el proveniente de la linterna) y un rayo reflejado (el proveniente del espejo). Sobre este fenómeno rigen dos leyes (Figura 23):

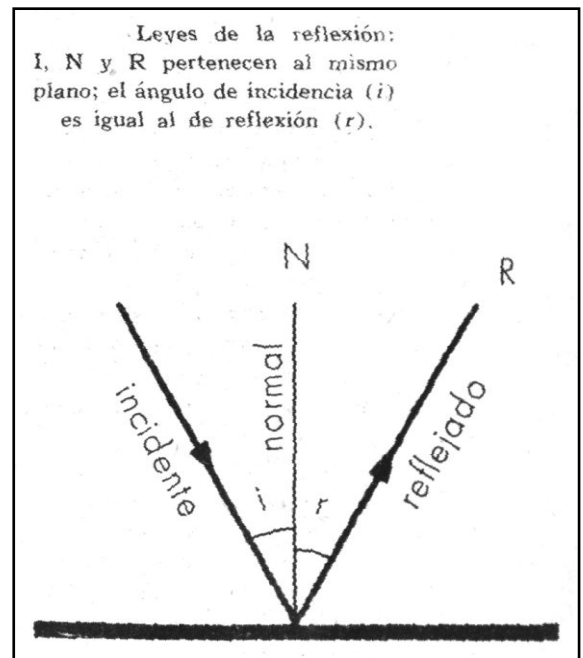


Figura 23: Leyes de la reflexión

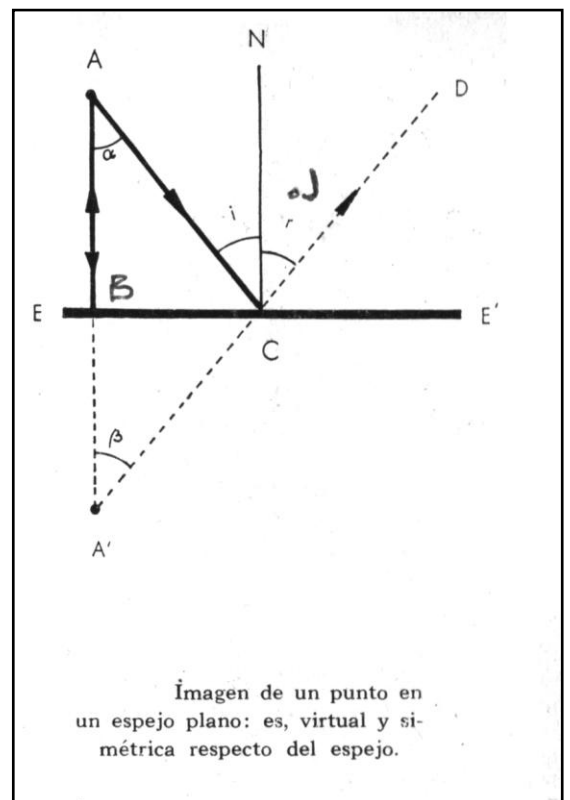


Figura 24: Espejos planos

1° Tanto el rayo incidente como el rayo reflejado y la recta N pertenecen al mismo plano.

2° El ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión ($i = r$). De este modo se deduce fácilmente que si el rayo incidente coincide con la recta N este rebota sobre sí mismo, ya que ambos ángulos tienen 0° .

Espejos Planos

Imágenes de un cuerpo puntual:

De todos los rayos que parten de A tomaremos en cuenta al rayo AB, perpendicular al espejo y reflejado sobre sí mismo (según lo explicado anteriormente) y al rayo AC que forma con la normal CN un ángulo de incidencia i que reflejado (CD) forma un ángulo de reflexión r . Si prolongamos los segmentos AC y CD veremos cómo estos dos se cortan en un punto A' llamado imagen de A. De este modo un observador parado en J afirmaría que los todos rayos parecen porvenir de A'.

Por lo tanto todos los rayos que parten de un punto objeto y se reflejan determinan otros, que prolongados determinan la llamada imagen virtual del punto en cuestión (Figura 24).

Cabe destacar que el punto A es simétrico con respecto a A' debido a que el espejo EE' es mediatriz del segmento AA', de esta manera si hay un incremento el segmento AB también lo habrá en el segmento A'B. Esta es la explicación de por qué cuando nos acercamos a un espejo la imagen del espejo parece también acercarse hacia nosotros.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores de las mediatrices se puede construir la imagen virtual de AB trazando las perpendiculares AM y BM al espejo, prolongando sus medidas y uniendo los puntos determinados en el paso anterior obteniendo la imagen virtual A'B'.

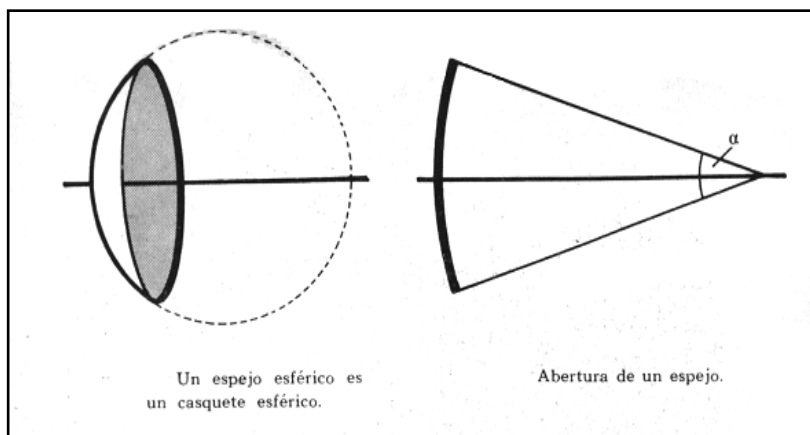


Figura 25: Espejos esféricos (casquete esférico)

Un observador que desconoce principios de óptica al que imaginaremos transparente en el punto T que mira según el sentido de la flecha (hacia el espejo) estaría en condiciones de afirmar que el

punto A que en realidad es A' se encuentra situado bajo si derecha pero él mismo si girara 180° comprobaría que en realidad el punto A se encuentra de su lado izquierdo. Esta es la razón por la cual si miramos por un espejo vemos las cosas invertidas como muestra el esquema.

Espejos en ángulo

Si tenemos dos espejos cuyas superficies pulidas se encuentran hacia fuera bien podríamos decir que se encuentran a 360°. Si colocamos un cuerpo entre medio de ellas no se formaría ninguna imagen. Del mismo modo si estuviesen a 180° (siguiendo una línea recta) y colocase un cuerpo como marca la (Figura 25) se formaría una sola imagen y si estuviesen a 90° se formarían tres uno compartido y otros dos uno en cada uno de los espejos.

Entonces para averiguar la cantidad de imágenes n que se forman en dos espejos en ángulo es válida la expresión:

$$n = \frac{360}{\alpha} - 1$$

De este modo vemos también que mientras más chico sea el ángulo serán más las imágenes formadas por lo que se podría decir que si n es un número muy chico la cantidad de imágenes sería un número cercano al infinito, razón por la cual en espejos paralelos se forman infinitas imágenes que se pierden intensidad y no llegan a distinguirse bien.

Espejos esféricos:

Espejo curvo es el que tiene la superficie curva pulida.

Espejo esférico es el que tiene la superficie pulida semejante a la de un casquete esférico (Figura 25).

Espejo esférico cóncavo es el que tiene la superficie interior pulida.

Espejo esférico convexo es el que tiene la superficie exterior pulida.

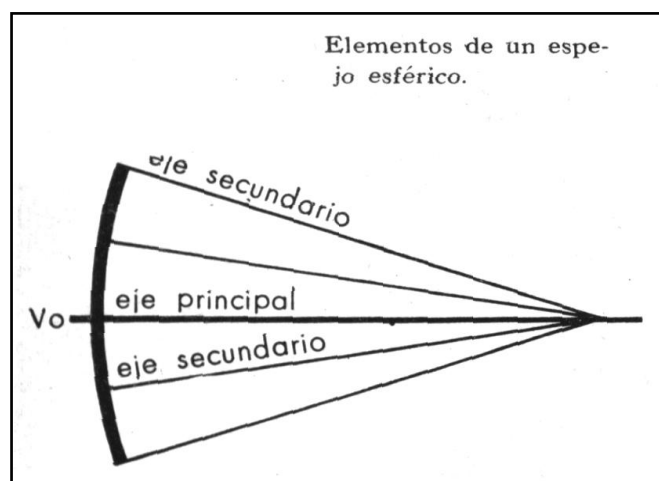


Figura 26: Espejos cóncavos

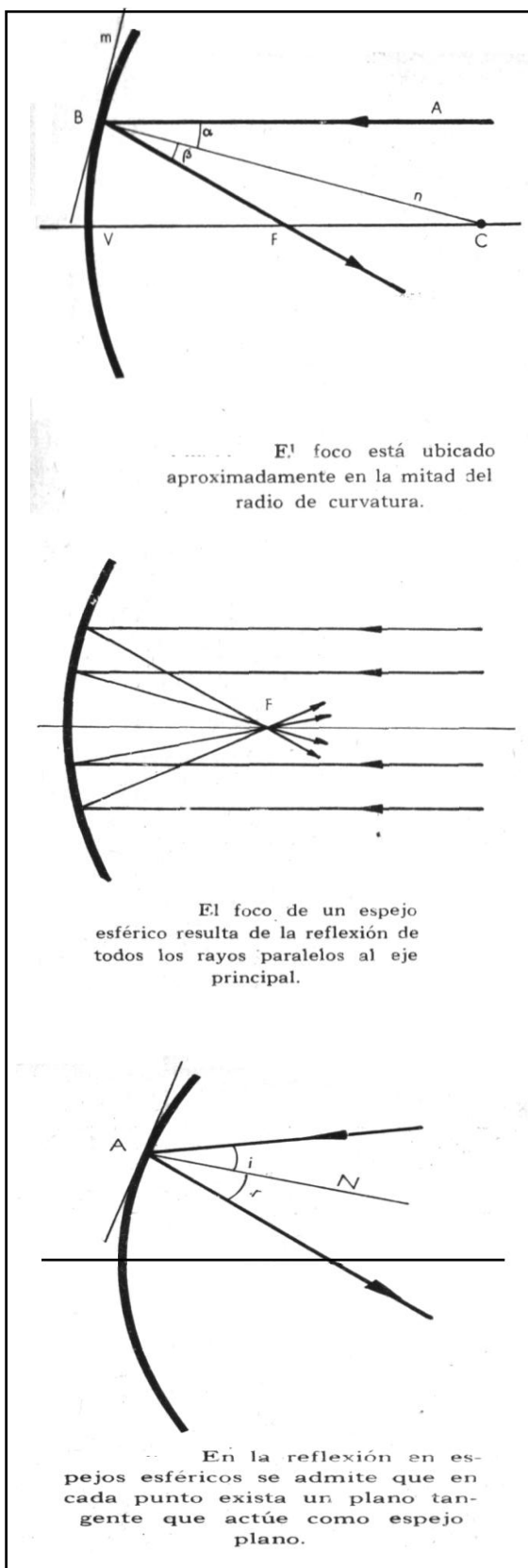


Figura 27: Espejos esféricos superiores a los 8° o 9° s (espejos cóncavos)

Espejos Cóncavos

Elementos de un espejo esférico:

Radio de curvatura: es el radio de la esfera a la cual pertenece (Figura 26).

Vértice del espejo: es el polo del casquete.

Eje principal: es la recta determinada por el vértice y el centro de la curvatura.

Eje secundario: es cualquier recta que pasa por el centro de la curvatura

Abertura del espejo: es el ángulo determinado por los dos ejes secundarios que pasan por el borde del espejo o suele también determinarse entre un eje secundario que pasa por el borde y el principal.

Se verifica lo siguiente en todos los espejos exceptuando los espejos esféricos superiores a los 8° o 9° (Figura 27) ya que para estos no se cumple estrictamente todo lo que anunciaremos a continuación: Las leyes de reflexión se verifican talen como en los planos tomando como espejo plano a la tangente en el punto que choca el rayo incidente, o sea que el punto de incidencia es un espejo plano infinitamente pequeño tangente al punto de incidencia mismo.

Si volvemos a usar nuestra linterna colocándola a una distancia considerable del espejo paralela al eje principal en distintas posiciones veremos como todos los rayos chocan contra el espejo y tienden a pasar por un mismo punto llamado foco y viceversa (si pasan por el foco serán paralelos al eje principal). Si ahora en vez de colocar la linterna paralela al eje principal la colocáramos paralela a cualquier eje secundario

veremos como también los rayos chocan y tienden a pasar por otro punto distinto al anterior llamado foco secundario. Por último podríamos colocar la linterna coincidente con el eje principal veremos como el rayo tiende a reflejarse sobre sí mismo debido a que coincide con la recta normal del espejo tangente.

Del estudio del triángulo BFC se podría decir que el foco se sitúa aproximadamente en la mitad del radio de la curvatura debido a que $VF \cong FC$. O sea la distancia focal es aproximadamente igual a la mitad del radio de la curvatura (Figura 28).

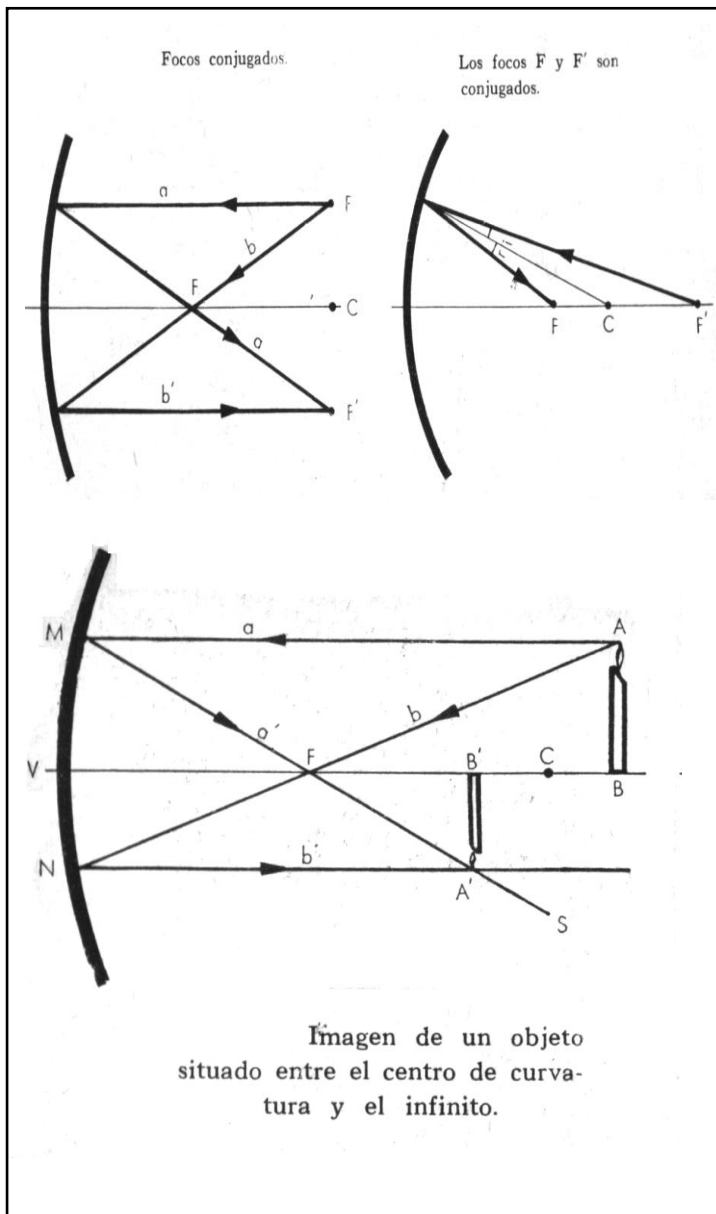


Figura 28: Imágenes en espejos esféricos

Si la curvatura fuese mayor a 8° o 9° en vez de que todos los rayos pasen por un solo punto (foco) se forma una superficie luminosa llamada cáustica por reflexión.

Imágenes en espejos esféricos

Focos conjugados

Si consideramos una fuente puntual F frente a un espejo esférico y suponemos que los rayos a' y b' son rayos reflejados de a y b suele decirse que F' es el foco conjugado de F. Esto es recíproco ya que si consideramos como fuente luminosa a F' tendría como foco conjugado a F por lo que se puede decir que el foco luminoso con su foco conjugado es recíproco. Imágenes de cuerpos no puntuales. Estos tipos de espejos presentan diferentes casos que estudiaremos por separado: (Figura 28).

El objeto se encuentra detrás del centro de la curvatura (entre el centro y el infinito)

Consideraremos a un objeto AB

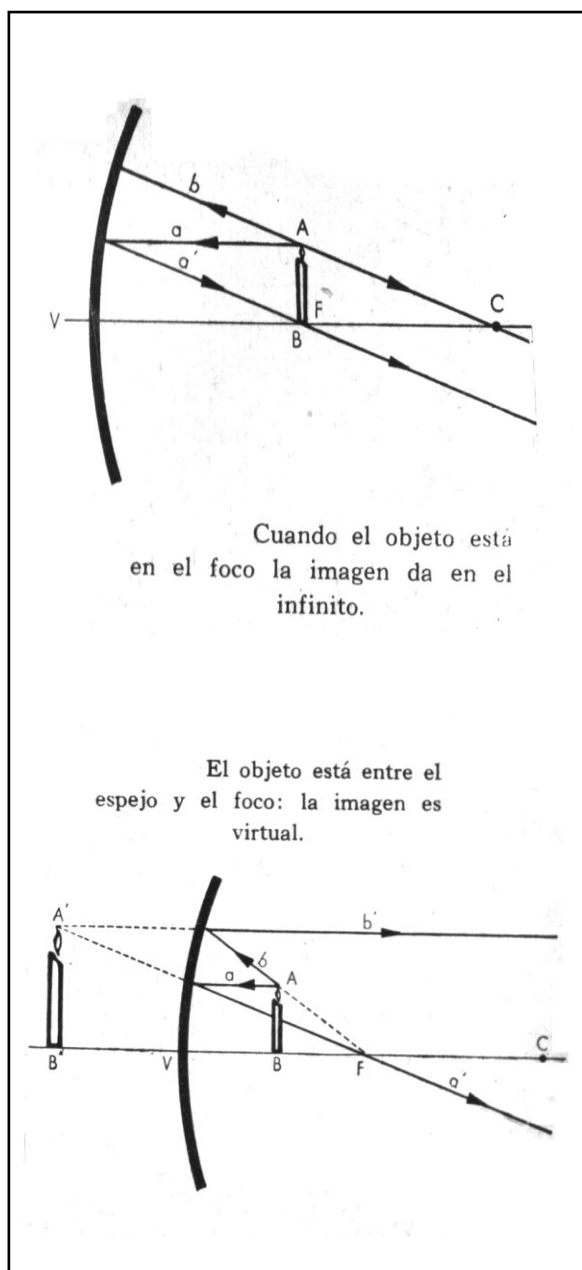


Figura 29: Imagen de objetos reflejada en el espejo

perpendicular al eje principal y con el punto b en común para evitar complicaciones innecesarias.

Los rayos a y b se reflejan según a' y b' determinando el punto A' y el punto B' es imagen de B por lo tanto A'B' es imagen de AB resulta real, invertida de menor tamaño y situada entre el foco y el centro.

El objeto está situado en el centro de la curvatura

Sucede análogamente con los rayos a, b, a' y b' la intersección de los últimos nos da el punto A' imagen de A y B es conjugado con B' entonces tenemos la imagen A'B' de AB que ahora es real, invertida, de igual tamaño y situada también en el centro.

El objeto está situado entre el centro y el foco principal.

Es recíproco al primer caso ya que como muestra la Figura los rayos determinan una imagen A'B' de AB real, invertida pero de mayor tamaño y situada detrás del centro.

El objeto está sobre el foco (Figura 29).

Los rayos a y b se reflejan pero los rayos reflejados son ahora paralelos por lo tanto nunca se cruzan imposibilitando la formación de una imagen, o como también se dice la imagen está infinitamente alejada.

El objeto está entre el foco y el espejo.

Considerando los rayos a y b vemos como al llegar al espejo tienden a separarse se logra solo si intersección si estos se prolongan por lo que la imagen de AB es A'B' que como queda detrás del espejo resulta virtual, mayor y de igual sentido que el objeto.

Fórmula de los focos conjugados

Todas las consideraciones anteriores corresponden a la siguiente expresión matemática siendo x la distancia objeto-espejo, x' la distancia imagen espejo y f la distancia focal del espejo (aproximadamente la mitad del radio de la curvatura).

$$\frac{1}{x} + \frac{1}{x'} = \frac{1}{f}$$

Espejos convexos

También se cumplen las leyes de reflexión pero en este tipo de espejos el foco principal es imaginario debido a que los rayos tienden a separarse, y por lo tanto la distancia es negativa.

Todo rayo paralelo al eje principal de un espejo convexo se refleja de modo tal que su prolongación pasa por el foco. Por lo tanto si un rayo incidente que pasa por el foco se refleja paralelo al eje principal

El rayo que incide en dirección hacia el centro se refleja sobre sí mismo (Figura 30).

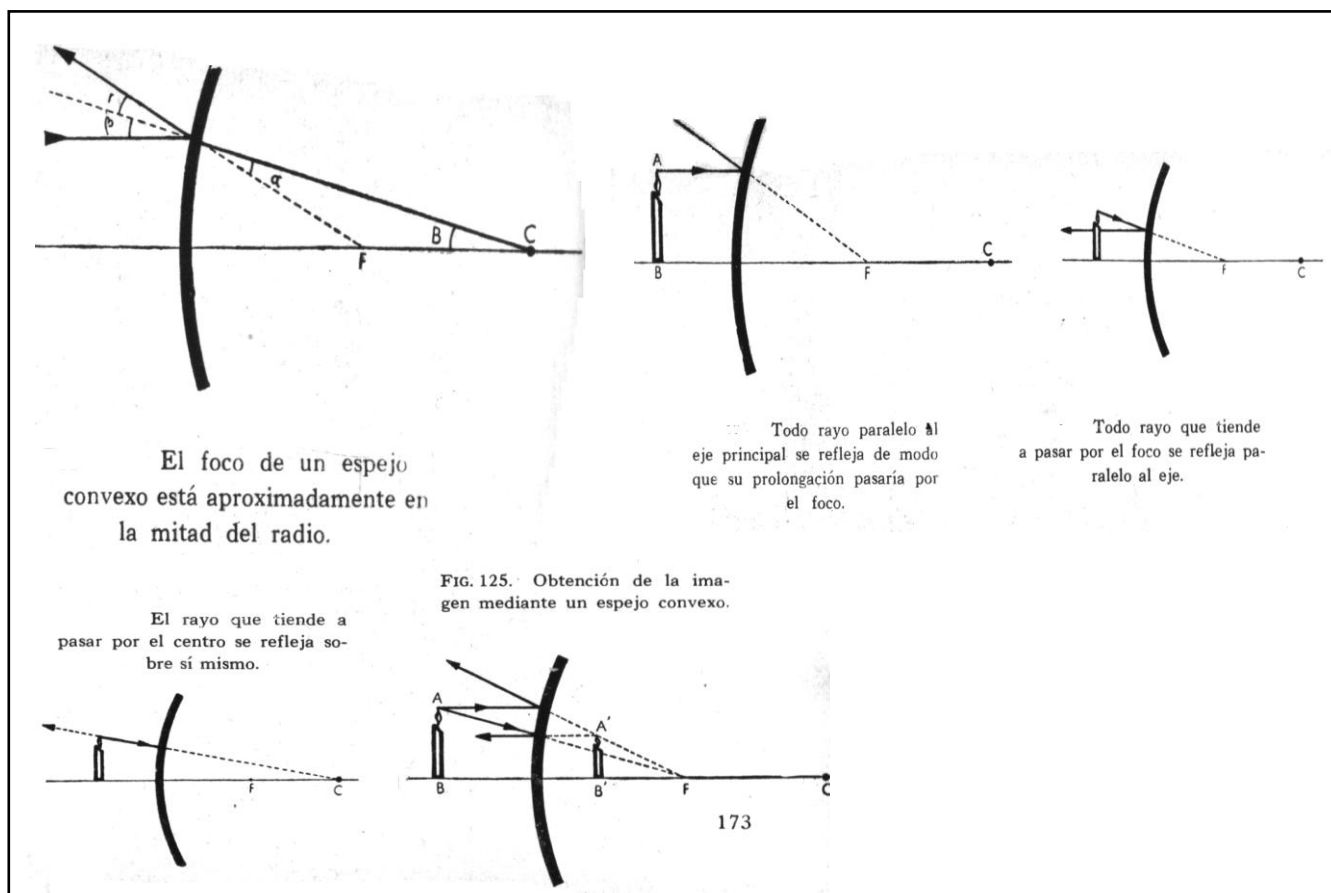


Figura 30: Imagen reflejada en el espejo convexo (forma básica del dispositivo de iluminación)

Imagen en un espejo convexo

Del mismo modo que en los espejos cóncavos prolongando los rayos A y B determinamos los puntos virtuales A' y B' y obtenemos la imagen virtual.

Esta es la única posibilidad que ofrecen los espejos, o sea que lo anterior se cumple siempre en este tipo de espejos.

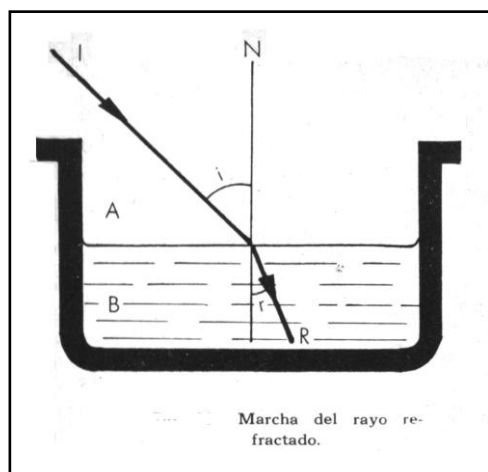


Figura 31: Desviación de un rayo de luz efecto de la refracción.

2.4.3 Refracción

Es la desviación de un rayo luminoso cuando pasa de un medio transparente a otro medio también transparente pero de distinta densidad. Este es el fenómeno que sucede cuando por ejemplo metemos una cucharita en un vaso de agua y ésta parecería estar quebrada (Figura 31).

Para darnos cuenta de manera más ejemplificativa de la desviación de los rayos lumínicos podríamos colocarnos frente a una pileta vacía en la cual no viéramos el tapón de la misma. Si ahora comenzamos a llenar de agua la pileta se produce una desviación de los rayos luminosos (refracción) que permite que veamos el tapón. La única causa de esta desviación es el hecho de que el agua tiene distinta densidad del aire.

Si ahora quisiéramos calcular cuánto se va a desviar el rayo tendríamos que tener en cuenta el rayo incidente con su ángulo de incidencia i con respecto a la normal N (perpendicular a la superficie de separación) y el rayo refractado con su ángulo de refracción también con respecto a N .

La Ley de Snell acerca de la refracción enuncia: (m y n son índices de refracción de los medios)

$$\sin i \cdot n = \sin r \cdot m$$

Ambos rayos refractados e incidente y la recta normal pertenecen al mismo plano.

La relación entre los senos de los ángulos de los dos ángulos es un índice de refracción del primero para con el segundo en símbolos:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n$$

Teniendo en cuenta un índice particular de dos medios (por ejemplo agua-aire)

El índice n depende de los medios en cuestión siendo mayor al ser más refringente el medio. Cuando el rayo coincide con la normal no sufre ninguna desviación.

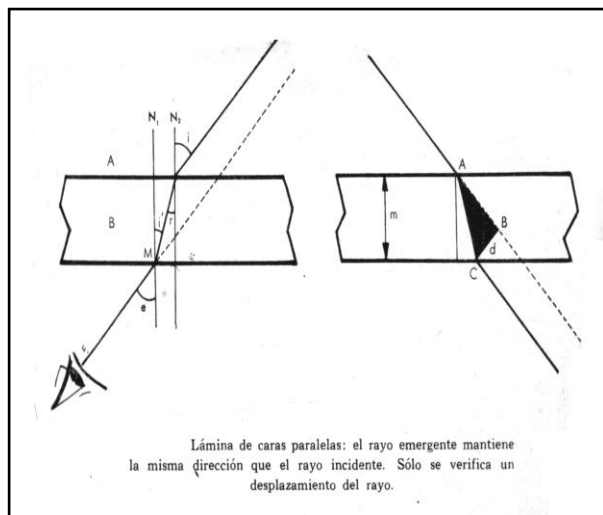


Figura 32: Lámina de caras paralelas

LAMINA DE CARAS PARALELAS

Se considera lámina de caras paralelas a todo medio refringente limitado por planos paralelos. Por ejemplo un vaso octogonal, etc. (Figura 32).

En éstas se verifica que todo rayo que incide sobre una de las caras de la lámina de caras paralelas emerge de ella y no se desvía, solo sufre un desplazamiento que depende del ángulo de incidencia. Si se analiza trigonométricamente la relación entre i y e se obtendrá que los ángulos son iguales:

$$d = m \cdot \sin i \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{1 - \sin^2 i}{n^2 - \sin^2 i}} \right)$$

Prisma

Un prisma es un medio transparente limitado por dos caras planas concurrentes. La intersección de esas caras se llama aristas y el diedro que forman, ángulo de refringencia (Figura 33).

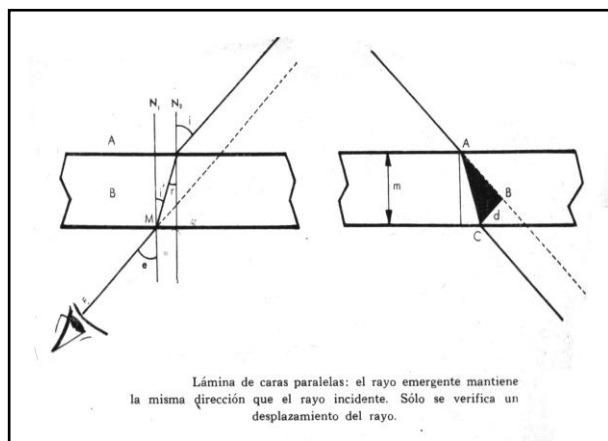


Figura 33: Prismas, lámina de caras paralelas

Marcha de los rayos en el prisma

Si sobre la cara e un prisma incide un rayo incidente un rayo IT sufrirá, al atravesarlo, la desviación que indica TS, es decir, acercándose a la normal N, pues pasa de un medio menos refringente a otro más refringente.

Cuando el rayo desaparece de un medio I, vuelve a desviarse en dirección SR, pues pasa de un medio menos refringente a otro más refringente.

El ángulo de desviación sufrida por un rayo luminoso al atravesar un prisma es igual a la suma del ángulo de incidencia i y el ángulo de emergencia e menos el ángulo de refringencia A .

2.4.4 La Parábola

La parábola es una de las secciones cónicas. Es una curva plana que se puede ajustar, en relación a un sistema de coordenadas ortogonales, con la relación (Figura 34).

$$y = ax^2 + bx + c$$

$$y - y_0 = a(x - x_0)^2$$

Se trata del lugar geométrico de los puntos de un plano que equidistan de uno fijo, llamado foco (F), y de una recta cualquiera, llamada directriz (D).

La ecuación de la parábola toma su forma más simple o reducida cuando el vértice está en el origen y el eje coincide con uno de los ejes de coordenadas.

Si el vértice está en el origen y el eje de la parábola coincide con el eje x, la ecuación de la parábola es:

$$x^2 = 4py$$

También suele utilizarse a en lugar de p, siendo 2p la distancia de la directriz al foco F. Esta distancia se denomina parámetro de la directriz y su valor coincide con el de la ordenada focal, es decir, con la mitad de la longitud de la cuerda trazada por el foco perpendicularmente al eje.

En general, para cualquier parábola (con eje paralelo al eje x) de vértice (h,k) se tiene que su ecuación canónica (o principal) es:

$$(y - k)^2 = 4p(x - h)$$

La orientación del eje de la parábola la da el elemento que no esté al cuadrado; así una parábola en que el elemento al cuadrado es x, quiere decir que su eje es paralelo al eje y.

Además, el signo de 4p indica la dirección de la apertura de la parábola: si 4p es positivo (mayor que cero), entonces la apertura es en dirección en que crece el respectivo eje.

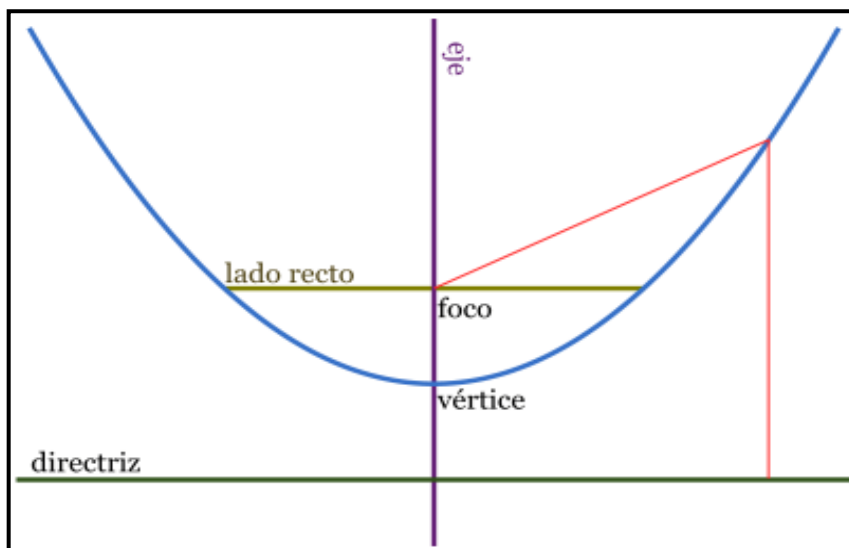


Figura 34: Elementos de una parábola

2.5 Cálculo Óptico

Con base al cálculo óptico y matemático se reduce el factor de error de las pruebas que se realizaron y a través de estos cálculos se garantiza una reflexión adecuada del dispositivo la cual está generada por una parábola la cual se comprobó con la ley de reflexión y leyes de la óptica. Las diferentes ecuaciones y leyes de la transmisión y reflexión de la luz pondrán en un contexto al dispositivo diseñado bajo estos principios y no solo las pruebas físicas de una curva simple.

Las ecuaciones de Maxwell son las ecuaciones que describen los fenómenos electromagnéticos. La gran contribución de James Clerk Maxwell fue reunir en estas ecuaciones largos años de resultados experimentales, debidos a Coulomb, Gauss, Ampere, Faraday y otros, introduciendo los conceptos de campo y corriente de desplazamiento, y unificando el campo eléctrico y magnético en un solo concepto: el campo electromagnético. De las ecuaciones de Maxwell se desprende la existencia de ondas electromagnéticas propagándose con velocidad.

$$v_f = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}}$$

El valor numérico de esta cantidad, que depende del medio material, coincide con el valor de la velocidad de la luz en dicho medio, con lo cual Maxwell identificó la luz con una onda electromagnética, unificando la óptica con el electromagnetismo.

2.5.1 Ley de Lambert

Esta ley explica que hay una relación exponencial entre la transmisión de luz a través de una sustancia y la concentración de la sustancia, así como también entre la transmisión y la longitud del cuerpo que la luz atraviesa. Si conocemos I y α , la concentración de la sustancia puede ser deducida a partir de la cantidad de luz transmitida (Figura 35).

Las unidades de c y α dependen del modo en que se exprese la concentración de la sustancia absorbente.

Si la sustancia es líquida, se suele expresar como

una fracción molar. Las unidades de α son la inversa de la longitud (por ejemplo cm^{-1}). En el caso de los gases, c puede ser expresada como densidad (la longitud al cubo, por ejemplo cm^{-3}), en cuyo caso α es una sección representativa de la absorción y tiene las unidades en longitud al cuadrado (cm^2 , por ejemplo). Si la concentración de c está expresada en moles por volumen, α es la absorbencia molar normalmente dada en mol cm^{-2} .

El valor del coeficiente de absorción α varía según los materiales absorbentes y con la longitud de onda para cada material en particular. Se suele determinar experimentalmente.

La ley tiende a no ser válida para concentraciones muy elevadas, especialmente si el material dispersa mucho la luz.

La relación de la ley entre concentración y absorción de luz está basada en el uso de espectroscopia para identificar sustancias.

Esto se puede expresar de distintas maneras:

$$A = \alpha l c$$

$$\frac{I_1}{I_0} = e^{-\alpha l c}$$

Dónde:

- A es la **absorbancia**
- I_0 es la **intensidad** de la luz incidente
- I_1 es la **intensidad de la luz** una vez ha atravesado el medio
- l es la distancia que la luz atraviesa por el cuerpo
- c es la **concentración** de sustancia absorbente en el medio
- α es el **coeficiente de absorción** o la absorbencia molar de la sustancia
- λ es la **longitud de onda** del haz de luz
- k es el **coeficiente de extinción**

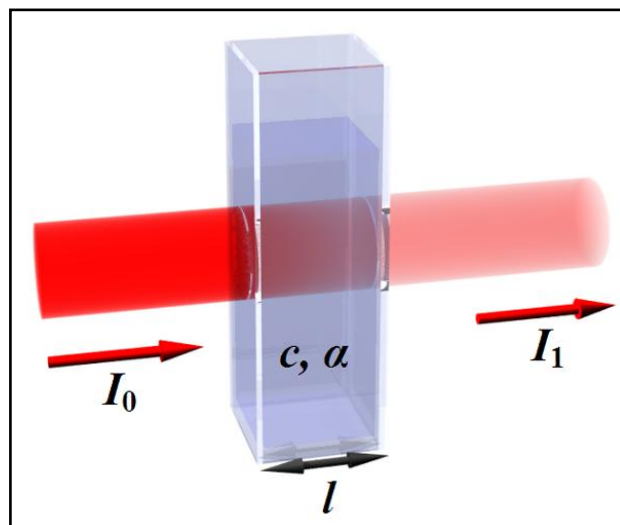


Figura 35: Transmitancia del rayo incidente en una superficie y resultante.

$$A = -\log \frac{I_1}{I_0}$$

$$\alpha = \frac{4\pi k}{\lambda}$$

2.5.2 Principio de Huygens

El principio de Huygens proporciona un método geométrico para hallar, a partir de una forma conocida del frente de ondas en cierto instante, la forma que adoptará dicho frente en otro instante posterior. El principio supone que cada punto del frente de ondas primario da origen a una fuente de ondas secundarias que producen ondas esféricas que tienen la misma frecuencia y se propagan en todas las direcciones con la misma velocidad que la onda primaria en cada uno de dichos puntos. El nuevo frente de ondas, en un instante dado, es la envolvente de todas las ondas secundarias tal como se muestra en la (Figura 36).

Supongamos que conocemos la forma del frente de ondas inicial AB. Sobre el frente situamos varias fuentes de ondas secundarias señaladas por puntos de color rojo y azul. Sea v es la velocidad de propagación en el punto donde está situada la fuente secundaria de ondas. Para determinar la forma del frente de ondas A'B' en el instante t , se traza una circunferencia de radio $v \cdot t$ centrada en cada una de las fuentes (en color rojo). La envolvente de todas las circunferencias es el nuevo frente de ondas en el instante t .

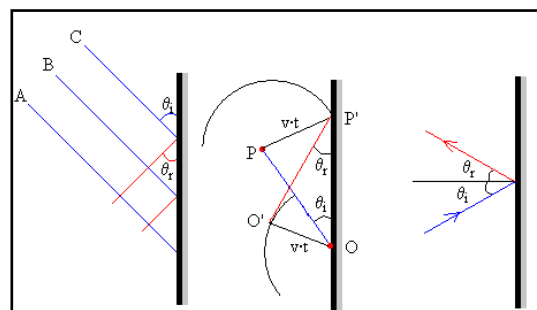


Figura 36: Diagramas de reflexión según el principio de Huygens

El radio de las circunferencias será el mismo si el medio es homogéneo e isótropo, es decir, tiene las mismas propiedades en todos los puntos y en todas las direcciones.

Ley de la reflexión

En la parte izquierda de la Figura, se muestra el aspecto de un frente de ondas que se refleja sobre una superficie plana. Si el ángulo que forma el frente incidente con la superficie reflectante

es θ_i , vamos a demostrar, aplicando el principio de Huygens, que el frente de ondas reflejado forma un ángulo θ_r tal que $\theta_i = \theta_r$.

Las posiciones del frente de ondas al cabo de un cierto tiempo t , se calculan trazando circunferencias de radio $v \cdot t$ con centro en las fuentes secundarias de ondas situadas en varios puntos del frente de onda inicial.

Las ondas secundarias situadas junto al extremo superior A se propagarán sin obstáculo, su envolvente dará lugar a un nuevo frente de ondas paralelo al inicial y situado a una distancia $v \cdot t$. Las ondas secundarias producidas en el extremo inferior del frente de ondas chocan contra la superficie reflectante, invirtiendo el sentido de su propagación. La envolvente de las ondas secundarias reflejadas da lugar a la parte del frente de ondas reflejado. El frente de ondas completo en el instante t tiene la forma de una línea quebrada.

Tomemos la fuente de ondas secundarias P, de la porción OP del frente de ondas incidente, trazamos la recta perpendicular PP' , tal que $PP' = v \cdot t$. Con centro en O trazamos una circunferencia de radio $v \cdot t$. Se traza el segmento $P'O'$ que es tangente a dicha circunferencia. Este segmento, es la porción del frente de ondas reflejado. De la igualdad de los triángulos OPP' y $OO'P'$ se concluye que el ángulo θ_i es igual al ángulo θ_r .

Si trazamos las rectas perpendiculares (denominadas rayos) a los frentes de onda incidente y reflejado, se concluye, que el ángulo de incidencia θ_i formado por el rayo incidente y la normal a la superficie reflectante, es igual al ángulo de reflexión θ_r formado por el rayo reflejado y dicha normal.

2.5.3 Ley de Snell

La ley de Snell es una fórmula simple utilizada para calcular el ángulo de refracción de la luz al atravesar la superficie de separación entre dos medios de índice de refracción distinto. El nombre proviene de su descubridor, el matemático holandés Willebrord Snell van Royen (1580-1626).

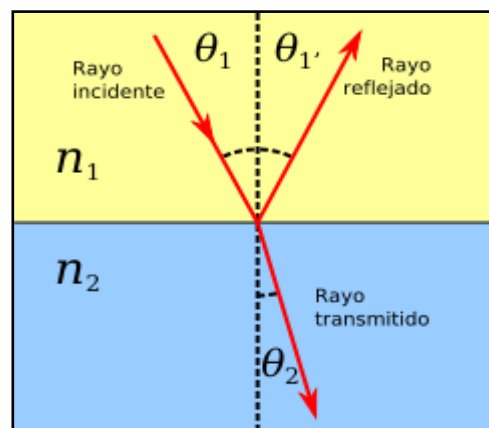


Figura 37: Una parte de la luz incidente se refleja en la frontera y la otra parte se transmite al otro medio.

La ley de Snell dice que el producto del índice de refracción por el seno del ángulo de incidencia es constante para cualquier rayo de luz incidiendo sobre la superficie separatriz de dos medios. Aunque la ley de Snell fue formulada para explicar los fenómenos de refracción de la luz se puede aplicar a todo tipo de ondas atravesando una superficie de separación entre dos medios en los que la velocidad de propagación la onda varíe (Figura 37).

La ley de Snell se puede derivar a partir del principio de Fermat, que indica que la trayectoria de la luz es aquella en la que los rayos de luz necesitan menos tiempo para ir de un punto a otro. En una analogía clásica propuesta por el físico Richard Feynman, el área de un índice de refracción más bajo es substituida por una playa, el área de un índice de refracción más alto por el mar, y la manera más rápida para un socorrista en la playa de rescatar a una persona que se ahoga en el mar es recorrer su camino hasta ésta a través de una trayectoria que verifique la ley de Snell, es decir, recorriendo mayor espacio por el medio más rápido y menor en el medio más lento girando su trayectoria en la intersección entre ambos.

3.- Luz y Arquitectura

3.1 Confort visual

Nos referimos al hablar de confort a la comodidad o falta de molestia en un ambiente determinado, intervienen en este concepto posibles causas ya que influyen simultáneamente los estímulos de todos los sentidos, además de otros factores difícilmente reconocibles. A pesar de ello clásicamente se analiza, de forma independiente el confort para cada uno de los sentidos principales, como es el caso de la vista.

Distinguimos al hablar de confort entre los parámetros, valores evaluables de las características energéticas del ambiente y los factores de confort, que dependen del usuario e influyen sobre la apreciación de los parámetros. El confort dependerá de la relación entre ambos y aunque el diseño arquitectónico influye sobre los parámetros esencialmente, se deberán tener en cuenta los factores del usuario (edad, tipo de actividad, etc.) para adecuar el diseño a su objetivo.

3.2 Nivel de iluminación (lux) Iluminancia

Temperatura de Color en °K		
Color	T° Color	Descripción
	30,000	Cielo azul
	10,000	Cielo despejado
Azul	7,500	Cielo nublado
	6,500	Lámpara fluorescente blanco luz día
	5,500	Lámpara de flash
	5,200	Luz solar directa
Blanco	4,500	Lámpara fluorescente blanco frío
	3,500	Lámpara fluorescente blanco
	3,100	Lámpara incandescente halógena
	3,000	Lámpara fluorescente blanco cálido
Amarillo	2,800	Lámpara incandescente tungsteno
Rojo	2,000	Salida o puesta del sol
Iluminancia	Abr.	Ejemplo
0,01 lux	10 mlx	Cielo nocturno despejado, cuarto creciente o menguante
0,25 lux	250 mlx	Luna llena en una noche despejada
1 lux	1 lx	Luna llena a gran altitud en latitudes tropicales
3 lux	3 lx	Límite oscuro del crepúsculo bajo un cielo despejado
50 lux	50 lx	Sala de una vivienda familiar
80 lux	80 lx	Pasillo/cuarto de baño
400 lux	4 hlx	Oficina bien iluminada
400 lux	4 hlx	Salida o puesta de sol en un día despejado.
1000 lux	1 klx	Iluminación habitual en un estudio de televisión
32.000 lux	32 klx	Luz solar en un día medio (mín.)
100.000 lux	100 klx	Luz solar en un día medio (máx.)

Tabla 5: Fuentes de iluminación en lux en el medio ambiente y espacios habitables.

3.3 Contraste y deslumbramiento

Contraste

Existe contraste cuando la luz que alcanza el punto de observación desde direcciones diferentes tiene niveles de luminancia distintos (ejemplo: la hoja blanca y la tinta sobre ella). Se estudian dos parámetros para medirlo:

Proporción de contraste (**Cp**): Para procesadores de textos se recomienda una Cp de 3

$$(Cp) = \frac{L_{Maxima}}{L_{Minima}}$$

Modulación de contraste:

$$(Cm) = \frac{L_{Max} - L_{Min}}{L_{Max} + L_{Min}} \cdot 100$$

La forma más común de producir contraste es utilizando superficies de reflectancia variable, aunque también puede generarse haciendo pasar la energía lumínica por un filtro de transmitancia variable (transmitancia es lo que una superficie deja pasar a su través de luz)

Deslumbramiento

Se produce un deslumbramiento cuando el observador es expuesto a una luminancia muy superior a aquellas en las que su retina estuviese previamente adaptada. Hay 2 formas de deslumbramiento.

Atendiendo al origen:

Directo: se produce cuando la persona mira directamente a la fuente del problema

Indirecto o reflejo: Cuando la fuente del problema se proyecta en la retina a través de una superficie reflectante.

Discapacitados: Suponen una reducción en la capacidad del sistema visual

Disconfort: Producen molestias o malestar.

La distinción discapacidad-disconfort no implica incompatibilidad dentro de las categorías. Todos los deslumbramientos incapacitantes son disconfort, aunque no siempre a la inversa.

Deslumbramiento Directo (D)

$$D = \frac{L_{FU}^{1,6} \cdot T^{0,8}}{L_{FO} \cdot E^{1,6}}$$

El riesgo del deslumbramiento directo aumenta con el crecimiento de la luminancia (LFU) y el del tamaño proyectado (T) de la fuente luminosa. Por el contrario disminuye con el incremento en la luminancia del fondo (LFO) y con la ecentricidad (E) en la posición de la fuente respecto a la línea de la mirada del observador.

$$UGR = 8 \cdot \log \left(\frac{0,25}{Lb} \right) \cdot \sum \left(\frac{Lw^2}{p^2} \right)$$

Para evitar y/o reducir el deslumbramiento se debe hacer que el numerador decrezca o el denominador aumente.

Ángulos de Ocultamiento

Según dónde esté situada una fuente de luz dentro de la luminaria (bombilla dentro de una lámpara), el deslumbramiento será diferente. Lo mejor es que esté más dentro de la luminaria para que no deslumbre (siempre hasta un cierto límite, claro).

El ángulo de ocultamiento se forma por la horizontal que pasa por la abertura de la lámpara y la otra línea del extremo brillante de la lámpara. Cuanto más dentro esté la fuente de luz, más grande sería alfa. Para tareas más complicadas, ángulos de ocultamiento mayores, si la tarea es más simple, el ángulo puede ser más pequeño.

Iluminación solar y deslumbramiento

Para iluminar sitios de trabajo se han tenido ciertas reticencias en países sobre todo de latitudes más elevadas debido a que su empleo requiere varios requisitos:

Requiere ventanas grandes

Son malas barreras térmicas y acústicas

Se necesitan limpiar con regularidad

Proporcionan un tipo y cantidad de luz variable en función de la hora y la estación del año.

Proporcionan un aporte lumínico que frecuentemente debe ser complementado con luz artificial.

Cuando se usa luz solar deben reducirse al mínimo las posibilidades de que esta se convierta en fuente de deslumbramiento. Por ello, se proponen las siguientes medidas.

Todas las ventanas deben contar con algún mecanismo para reducir de forma significativa, gradual y controlada su luminancia (mediante el uso de persianas venecianas, celosías, etc.).

Puesto que el riesgo de deslumbramiento se reduce con el aumento en la luminancia del entorno, es recomendable usar superficies de alta reflectancia en las proximidades de las ventanas y/o un cierto grado de angulación en las partes de la pared más próximas a ellas.

Puesto que el deslumbramiento se reduce con la excentricidad de la fuente que lo produce (E), se debe intentar que las ventanas se ubiquen lo más alejadas posibles de la línea de la mirada del trabajador

Deslumbramiento Indirecto (reflejos)

Puede haber dos tipos de superficies, en general.

La superficie puede ser Pulida; en cuyo caso, toda la luz se reflejará en una sola dirección.

La superficie puede ser mate; con lo que toda la luz es reflejada en la misma cantidad y en todas direcciones. Los reflejos en este caso no son importantes.

Si queremos luchar contra el deslumbramiento, es mejor una superficie mate, o si no, que la luz venga de todas las direcciones posibles para que también la superficie, que en este caso será pulida, refleje también en todas direcciones.

El uso de superficies pulidas e iluminarias localizadas fomenta la aparición de deslumbramientos indirectos. Para combatirlos, además de evitar que se den estas circunstancias, se debe ser cuidadoso con la ubicación del trabajador.

Se debe:

Incrementar el área de luz que alcanza el área de trabajo desde posiciones lateralizadas (situadas a izquierda o derecha respecto de la línea de la mirada)

Usar luminarias con superficies lumínicas extensas y de baja luminancia

Emplear superficies y materiales de trabajo lo más mates posibles.

3.4. Condiciones de cielo (tabla 6)

Irradiancia global y difusa en diferentes condiciones		
Condiciones climatológicas	Irradiancia (w/m2)	Componente difusa (%)
Cielo claro	750-1,000	10-20
Parcialmente nublado	200-500	20-90
Completamente cubierto	50-150	90-100
Luminancias		
Iluminancia solar directa	25,000	cd/m2
Iluminancia diurna exterior	10^3 a 10^4	cd/m2
Buena iluminación interior	10^2 a 10^3	cd/m2
Iluminancia interior media	10 a 10^2	cd/m2
Iluminación interior débil	1 a 10	cd/m2
Iluminancia exterior de noche	10^{-1} a 1	cd/m2
Visión de noche	10^{-4} a 10^{-1}	cd/m2
Iluminancias		
El sol a 50° del horizonte	100,000	Lux
Exterior sin sol	varios miles	Lux
Interior bien iluminado	Varios cientos	Lux
Cielo sin luna en la noche	0.0003	Lux

Tabla 6: Irradiancia global y difusa en diferentes condiciones.

3.5 Normatividad

En México, la Ley Federal sobre Metrología y Normalización (LFMN) distingue, de acuerdo con su régimen de aplicación dos tipos de normas, las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) de aplicación obligatoria y las Normas Mexicanas (NMX) de aplicación voluntaria. Determina como finalidad de las NOM, entre otras, la de establecer las características y/o especificaciones, criterios y

procedimientos que permitan proteger y promover el mejoramiento del medio ambiente y los ecosistemas, así como la preservación de los recursos naturales.

Establece que corresponde a las Dependencias de la Administración Pública Federal, según su ámbito de competencia, constituir y presidir los Comités Consultivos Nacionales de Normalización (CCNN) para elaborar y expedir las NOM en las materias relacionadas con sus atribuciones, así como certificar, verificar e inspeccionar su cumplimiento.

Con base a lo anterior la Secretaría de Energía a través de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE), constituyó en el año de 1993 el Comité Consultivo para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos (CCNNPURRE), presidido por el Director General de dicha Comisión para elaborar y expedir las NOM-ENER. A la fecha se encuentran vigentes 18 normas de eficiencia energética, trece de producto y cinco de sistemas.

Para garantizar la calidad y cantidad de iluminación requerida dentro de los locales habitables y laborales se plantea un Reglamento de Construcción para el Distrito Federal⁶ el cual indica características y requerimientos básicos y las Normas Mexicanas especifican con mayor exactitud datos precisos como lo son la **NOM-007-ENER-1995**, “Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales”, la **NOM-017-ENER-1997**, “Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales” y la **NOM-025-ENER-1999**, “Condiciones de iluminación en los centros de trabajo”, con lo cual se pretende que los proyectos cumplan con los requisitos de iluminación natural y artificial para el desarrollo de las actividades en diferentes locales (Arnal, 2006).

⁶ Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones, dentro del capítulo 3.4 (Iluminación y ventilación).

4.- Dispositivos lumínicos

4.1 Especulares

Los dispositivos lumínicos ayudan a incrementar los niveles lumínicos y el confort visual de los usuarios; estos dispositivos trabajan a base de la reflexión y la transmisión de los rayos luminosos provenientes del sol.

4.1.1 Helióstatos



Un heliostato (Figura 38) es un conjunto de espejos que se mueve sobre dos ejes normalmente en montura alta acimutal, lo que permite, con los movimientos apropiados, mantener el reflejo de los rayos solares que inciden sobre él se fijen en todo momento en un punto o pequeña superficie, deshaciendo en el rayo reflejado el movimiento diurno terrestre.

Se utilizan fundamentalmente:

Figura 38: Helióstatos

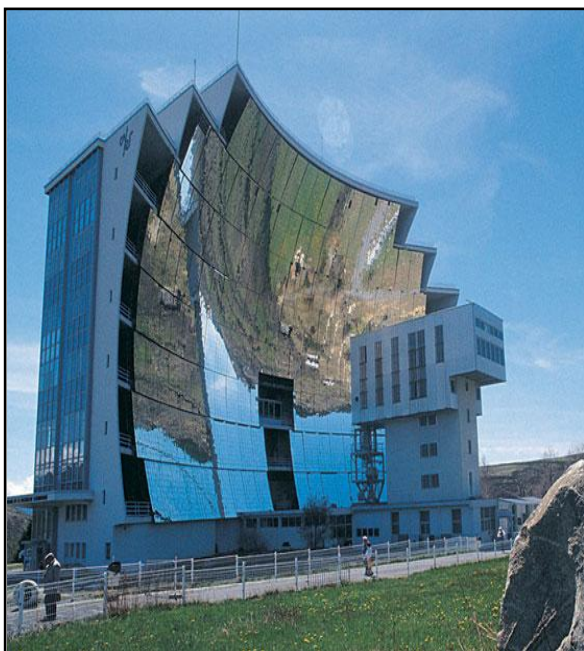


Figura 39: Horno Solar a base de espejos cóncavos

En observaciones astronómicas, para mantener fija la imagen del Sol o de un astro sobre el aparato de observación. En este caso suelen ser de pequeñas dimensiones.

En centrales solares termoeléctricas, (Figura 39) para concentrar la energía solar sobre el receptor, y conseguir así altas temperaturas.

En experimentación y pruebas de materiales a altas temperaturas, ya que un conjunto suficientemente grande de heliostatos puede concentrar los rayos solares hasta conseguir temperaturas de más de 2000°C.

En centrales solares termoeléctricas fuera de servicio, como es el caso de Solar Two, se utilizan en observaciones astronómicas.

4.1.2 Luminoductos

Un conducto de sol es un sistema de iluminación natural que capta la luz del sol mediante cúpulas situadas en la cubierta de los edificios y la transporta varios metros hacia el interior utilizando un conducto altamente reflectante (Figura 40). Esto permite iluminar espacios oscuros o sin ventanas incluso cuando no estén directamente bajo la cubierta.

El resultado son espacios luminosos y llenos de vida gracias a la luz natural, consiguiéndose importantes aumentos de productividad en los puestos de trabajo, menor absentismo laboral, mayor rendimiento de los alumnos en las escuelas, mayor nivel de ventas en locales comerciales, etc., todo ello utilizando una fuente de energía gratuita y sostenible que no necesita mantenimiento.



Figura 40: Luminoductos o ductos lumínicos



Figura 41: Casa ejemplo con el sistema de Luminoductos o ductos lumínicos

En cualquier espacio en el que se pueda hacer llegar el conducto desde la cubierta. Es importante que la cúpula se encuentre situada en una zona bien soleada durante la mayor parte del día, de forma que no tenga sombras de árboles, muros o edificios vecinos (Figura 41). Para obtener una distribución lo más uniforme posible sobre la sala a iluminar, lo más adecuado es situar el difusor lo más centrado dentro de la sala.

4.1.3 Fibra óptica

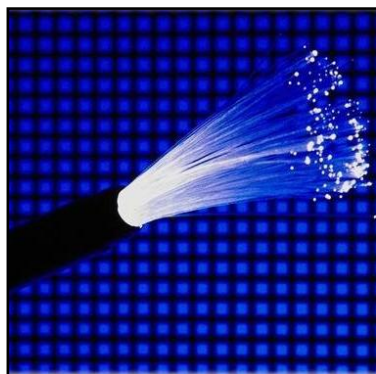


Figura 43: Fibra óptica

La fibra óptica es un conductor de ondas en forma de filamento, generalmente de vidrio, aunque también puede ser de materiales plásticos. La fibra óptica es capaz de dirigir la luz a lo largo de su longitud usando la reflexión total interna. En un extremo de la fibra se coloca la fuente luminosa la cual puede ser artificial o natural.

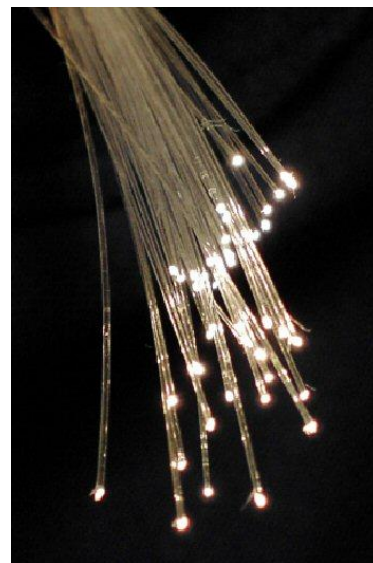
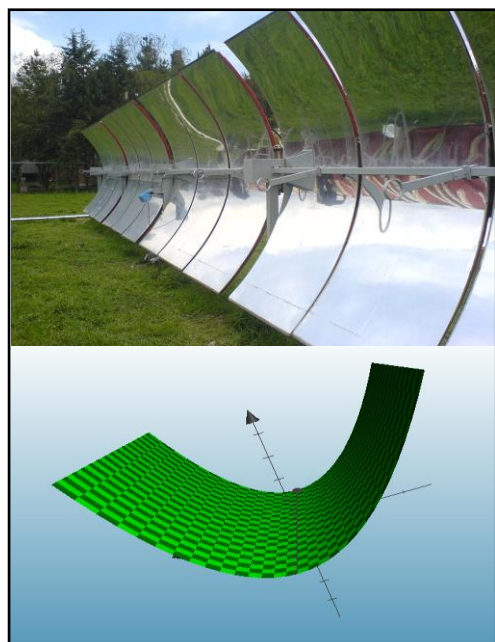


Figura 42: Fibra óptica

Las fibras son ampliamente utilizadas en telecomunicaciones, ya que permiten enviar gran cantidad de datos a gran velocidad, mayor que las comunicaciones de radio y cable. También se utilizan para redes locales. Son el medio de transmisión inmune a las interferencias por excelencia, (Figuras 42 y 43).

4.1.4 Concentradores solares



Figuras 44 y 45: Canal Parabólico y geometría de un canal

La esencia de la tecnología de concentración radica fundamentalmente en la reducción del dispositivo receptor de la radiación solar incidente debido a la posibilidad de concentrar la radiación. El proceso se realiza mediante la interposición de un dispositivo óptico (Figura 44 y 45) entre la fuente de radiación y la superficie de absorción capaz de concentrar la radiación incidente sobre una superficie más pequeña que la superficie de entrada (Figura 46).

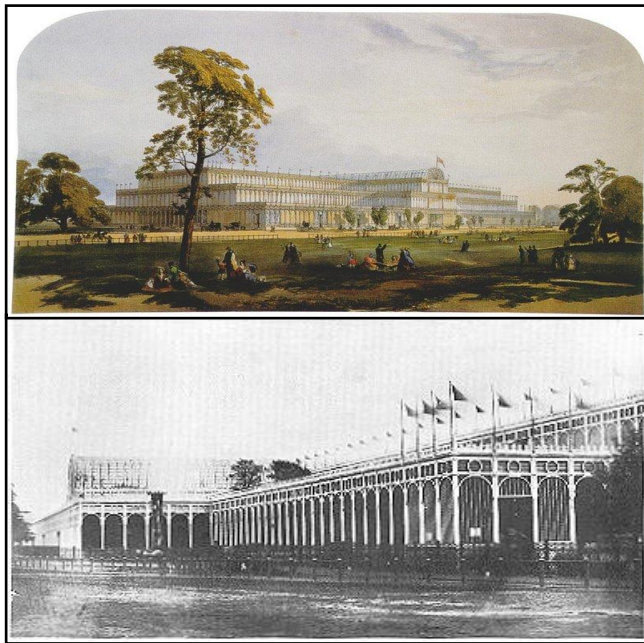


Figuras 46: Canal Parabólico

4.1.5 Dispositivos especiales



Figuras 47 y 48: Parlamento Alemán en Berlín y detalle de la cúpula (Sistema de iluminación natural)



Figuras 49 y 50: Palacio de Cristal en Inglaterra

Los dispositivos instalados en edificaciones ya existentes se van adecuando a éstas o se diseñan dispositivos junto con las construcciones nuevas por lo que son casos aislados o no comerciales de los cuales solo en pocos casos o solo en el que se emplea pueden servir como lo podemos ver en el sistema de iluminación natural en el edificio del Reichstag Parlamento Alemán (Figura 47 y 48) en Berlín por el Sir. Arq. Norman Foster.

El sistema consiste en una cúpula traslúcida y un dispositivo reflejante en el centro con forma cónica invertida para la captación y reflexión de los rayos del sol y una pantalla con sistema de seguimiento solar.

La función del sistema es de dar iluminación a las oficinas de los niveles inferiores a la cúpula por medio de las múltiples reflexiones de la luz incrementando el nivel de confort visual y lumínico.

Pero las superficies traslúcidas se han empleado en varias topologías de construcción como lo vemos en el palacio de cristal de principios del siglo XIX en Inglaterra (Figura 49 y 50).

Esta construcción se dispuso para la exposición mundial desarrollada en Inglaterra nombrada el Palacio de Cristal y fue construido por Sir Joseph Paxton.

4.1.6 Proyectos integrales

Los proyectos integrales al medio ambiente cuentan con sistemas o desarrollan dispositivos de confort como vemos en un diagrama simple de flujo de iluminación y ventilación natural en edificaciones de más de tres niveles (Figura 51 y 52).



Figuras 51 y 52: Edificio con sistemas integrales (iluminación y ventilación)

Conductos de Luz

Los conductos de luz son sistemas que captan la luz del sol mediante cúpulas situadas en las cubiertas de los edificios y la transportan hasta espacios sin ventanas utilizando un conducto altamente reflectante. Es un nuevo concepto en conductos de sol que es capaz de iluminar varias plantas al mismo tiempo utilizando el mismo conducto, ya que dispone de aberturas laterales por las que va entregando la luz a cada uno de los pisos (Figura 53).

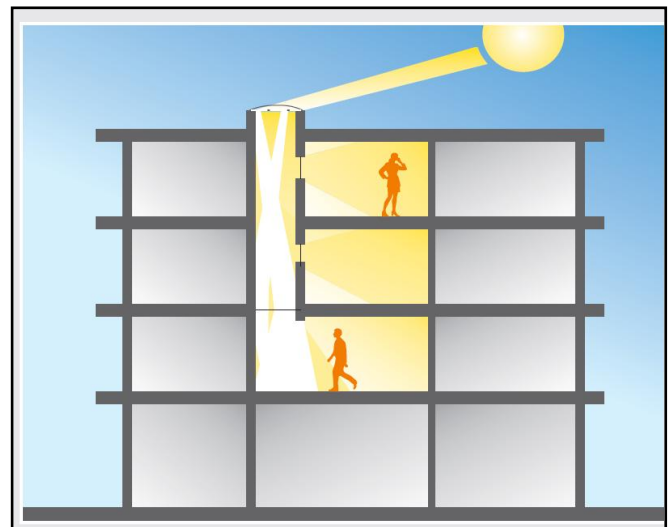


Figura 53: Conducto de Luz

4.1.7 Dispositivos Especulares (similares)



El dispositivo objeto de investigación tiene antecesores o dispositivos similares los cuales son: dispositivos especulares y reflectores solares, estos dispositivos reflejan la luz o rayos solares a espacios en particular o puntos estratégicos. Estos sistemas se pueden emplear con espejos planos o cóncavos.

Como se observa en la (Figura 54) los espejos reflejan los rayos solares a escotillas o ductos para iluminar sótanos o espacios bajos. Con este mismo principio se plante el diseño del dispositivo analizado, con la finalidad de que refleje los rayos solares en un cubo o patio según sea el caso.

Figura 54: Dispositivos Especulares

5.- Caso de estudio

5.1 Justificación

Dentro de algunas edificaciones se han contemplado patios de iluminación siendo éstos, elementos reguladores del micro-clima que se genera en el interior del edificio. El patio proporciona ventajas en los aspectos de iluminación, ventilación y calentamiento, pero en ciertos casos en el diseño de los mismos no se han satisfecho las necesidades funcionales, este problema se presenta por las dimensiones del patio y la esbeltez del propio edificio, en algunos casos se incorporan dispositivos de iluminación de alta eficiencia como son: luminoductos, helióstatos, sistemas especulares, etc., pero estos dispositivos sólo son eficientes para mandar luz de sol de un nivel a otro.

Planteamiento del problema

El consumo de energía eléctrica en las edificaciones destinadas al ámbito educativo, comercial, industrial y residencial registra un alto porcentaje en la iluminación artificial, por lo tanto, se presenta el problema del consumo de combustibles fósiles para satisfacer sus necesidades, dicho problema se podría dar solución por medio de iluminación natural, la cual se integraría a la edificación por medio de patios y cubos de iluminación pero en ciertos casos éstos no satisfacen las necesidades de los usuarios, por lo tanto se integran dispositivos de alta eficiencia.

En diferentes casos, los patios de iluminación pierden su principal función, la de proporcionar iluminación natural en las habitaciones orientadas a éstos. Por lo que esta investigación plantea la búsqueda de una alternativa a partir de un dispositivo de control lumínico (*proyector especular o helióstato*) con el cual se estudiará la trayectoria solar de la latitud de la Ciudad de México para diseñar un dispositivo que refleje la iluminación al interior del patio, de tal modo que las habitaciones de planta baja orientadas al mismo se vuelvan más confortables.

Los casos de estudio que se analizarán serán la Secundaria Diurna No. 7, José Manuel Ramos, el edificio habitacional ubicado, en la calle de Moliere, colonia Polanco. En los dos casos se observa una carencia de iluminación natural por las dimensiones del patio y los cubos de iluminación.

5.1.1 Casos de estudio

Caso de Estudio “A”

El primer caso de estudio es un edificio escolar, secundaria diurna No. 7, nombrada José Manuel Ramos (Figura 55), ubicada en la calle 5 de febrero, colonia Centro en la delegación Cuauhtémoc en la ciudad de México (Figura 57, 58), dicho edificio tiene actividades en un periodo de 7:00 de la mañana a las 8:00 de la noche, por lo tanto, el consumo del gasto energético provocado por el rubro de la iluminación es bastante elevado por las carencias de iluminación natural en las aulas y laboratorios orientados a los patios o cubos de iluminación. El sistema de iluminación actual se encuentra encendido en todo el periodo de actividades, a pesar que el patio de iluminación (Figura 56) cumple con las dimensiones mínimas establecidas en el Reglamento de Construcción del Distrito Federal (RCDF) la cantidad y calidad de iluminación registrada en lux en el interior de las aulas y espacios orientados al mismo patio. Por lo tanto, el edificio escolar es un candidato para el estudio de un dispositivo de alta eficiencia para la iluminación natural de los espacios orientados al mismo patio.



Figura 55: Fachada principal

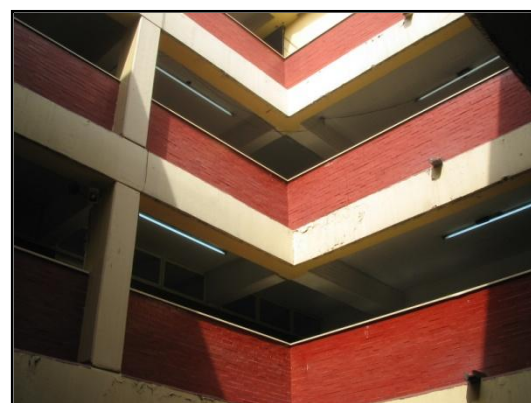


Figura 56: Patio principal

Ubicación del Caso de Estudio “A” Escuela Secundaria Diurna No. 7

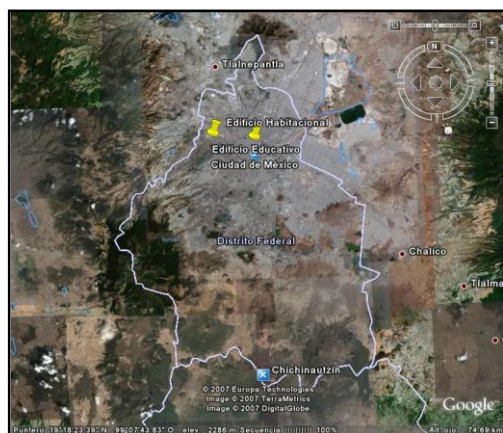


Figura 57: Ciudad de México (Distrito Federal)

Edificio
Escolar

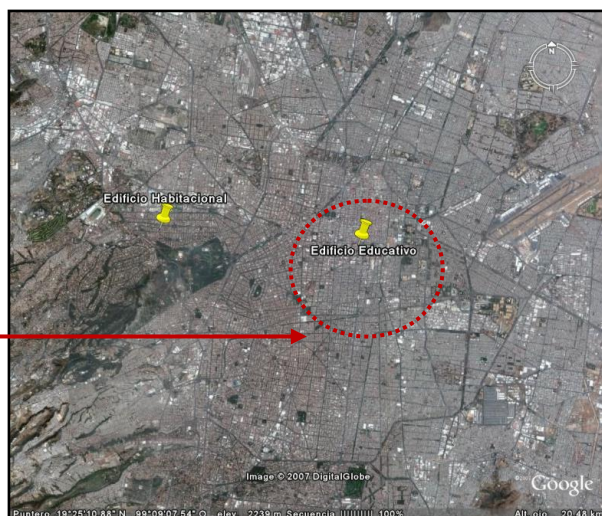


Figura 58: Ubicación del edificio escolar (Distrito Federal)

Caso de Estudio “B”

Para el caso de estudio “B” se propuso en edificio habitacional por ser un modelo de edificación más común en la ciudad (Figura 59) y en los cuales se presenta con más frecuencia casos de patios o cubos de iluminación carentes de su propósito principal (iluminar), por lo tanto se escogió un edificio el cual tiene dos cubos de iluminación y ventilación, en los cuales se orientan servicios de los departamentos (baños, vestidores, cuarto de lavado y desayunador).

El edificio es de cuatro niveles más planta baja y un sótano como estacionamiento el cual se encuentra con menor nivel de confort visual, así como las habitaciones de planta baja y primer nivel se registran niveles bajos de lux.

El edificio se encuentra ubicado en la calle Moliere No. 97, colonia Polanco, delegación Miguel Hidalgo, en la ciudad de México, la fachada principal (Figura 40) da hacia la calle de Moliere y la fachada posterior se orienta a un patio posterior (Figura 60) y las habitaciones orientadas al este no presentan problemas de iluminación, derivado de las dimensiones del patio y el tamaño de los vanos. Los dos cubos de iluminación y ventilación (Figura 61) se ubican al centro de la construcción con los bloques de servicio⁷.

⁷ Los locales de servicios orientados a los cubos son los casos de estudio como se ve en la Figura 50.

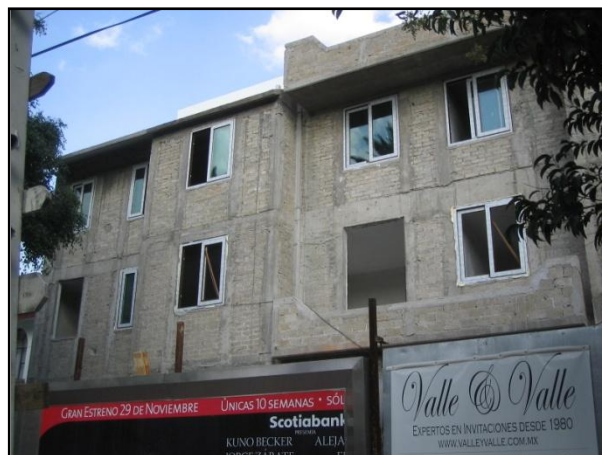


Figura 59: Edificio habitacional (fachada principal)



Figura 60: Edificio habitacional (cubo de iluminación)



Figura 61 Edificio habitacional (patio posterior)

5.1.2 Sistema propuesto

Fases

Fase uno

Levantamiento arquitectónico de los patios y sus alrededores para elaborar los planos del estado actual de las edificaciones y una maqueta de trabajo escala 1:25 de cada caso de estudio. Se tomara lectura de los niveles de iluminación (lux) en el patio y en las habitaciones orientadas al mismo (Figura 62), (Figura 53). Así mismo se procedió a tomar lecturas en la maqueta para comparar que el modelo a escala y el caso de estudio se comportan de la misma manera (iluminancia) para que al colocarse el dispositivo a escala de referencia como si estuviera realmente instalado en sitio.



Figura 62: (Edificio habitacional)
Accesos, baños y cocina orientados al Cubo de iluminación.

Fase dos

Se graficará el comportamiento del modelo a escala sin el dispositivo y se realizará lo mismo colocando el dispositivo.

Fase tres

Se realizó pruebas del modelo a escala del dispositivo de control lumínico en el Gnomón⁸ (trazo de un reloj solar) (Figura 63) para confirmar la penetración de los rayos solares al fondo del patio por medio de una línea de luz formada por un apuntador láser, verificando las múltiples reflexiones de la luz.

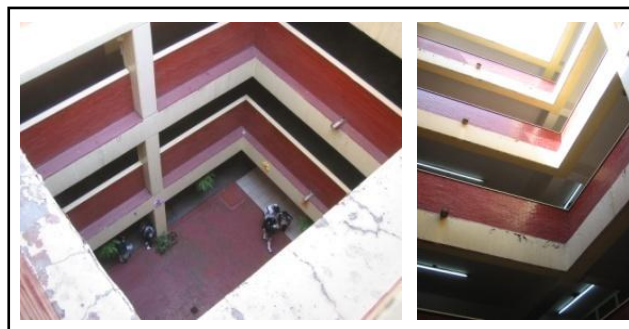


Figura 63: (Edificio escolar)
Aulas y pasillos orientados al Cubo de iluminación.

⁸ En origen, la palabra **gnomon** (en griego: *guía* o *maestro*) hacía referencia a un objeto alargado cuya sombra se proyectaba sobre una escala graduada para medir el paso del tiempo.

Por último se evaluó el modelo al **aire libre** con la ayuda de un Gnomón, (Figura 64 y 65), con una iluminación natural en condiciones de cielo: despejado, medio nublado y nublado cerrado para comprobar las mediciones con el laboratorio (cielo artificial).

Fase cuatro

Para confirmar los datos presentados por las pruebas realizadas en el **Cielo artificial** y en el **Gnomón** se ejecutó el modelo matemático el cual comprobó el dispositivo de control lumínico.

Esta prueba se realizó con base en cálculos matemáticos por la ley de múltiples reflexiones de Lambert y la ley de Snell, geometría solar, y cálculo óptico del comportamiento de la luz, por lo que se elaborará la **montea solar** de la latitud donde se ubica el patio, para insertar el corte de la construcción con la finalidad de comprobar la reflexión de los rayos solares en el interior de patio.

Metas de la investigación

1. **Elaboración y diseño un dispositivo de control lumínico el cual garantice la penetración de luz natural en el fondo de los patios.**
2. **Evaluación de pruebas en el cielo artificial**
3. **Evaluación del dispositivo al aire libre con iluminación natural**
4. **Evaluación del dispositivo de control lumínico por modelos matemáticos y gráficos (Ley de reflexiones Lambert, cálculo óptico del dispositivo)**
5. **Trazo de la montea solar sobre el corte longitudinal o transversal del patio para verificar las reflexiones originadas por el modelo matemático.**

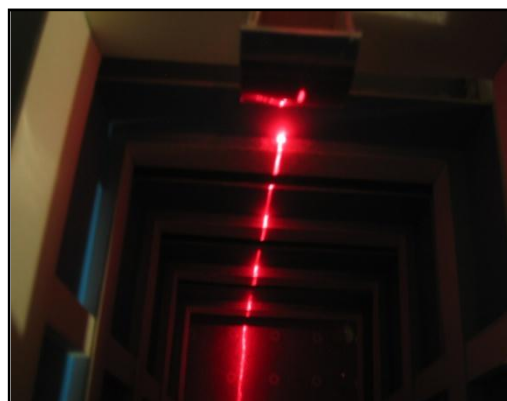


Figura 64: (Edificio escolar)
Pruebas con un Gnomón y un apuntador Láser.



Figura 65: (Edificio escolar)
Pruebas con un Gnomón al aire libre.

5.1.3 Metodología del experimento

Fases	Trabajos (Figura 66)
1	1.- Se elaboró la maqueta del patio y del cubo en sección (corte perpendicular a la trayectoria solar).
	2.- Se evaluarán cuatro (4) dispositivos especulares de doble curvatura (convexos).
	3.- Se evaluarán cuatro (4) dispositivos especulares de una curva (parábola).
	4.- Se determinó la geometría correcta del dispositivo.
2	1.- Se calculó la curva (forma geométrica del dispositivo) por medios matemáticos.
3	1.- Se elaboró el dispositivo a escala y colocar en las maquetas de trabajo de cada uno de los casos de estudio.
	2.- Se comprobó que el modelo a escala de los casos de estudio se comporte de acuerdo al modelo real.
	3.- Se evaluó el dispositivo con una superficie especular.
	4.- Se evaluó el dispositivo con una superficie recubierta de esmalte color blanco.
	5.- Se registró el incremento de los niveles de lux registrados en las habitaciones orientadas a los patios con cada una de las dos opciones (especular y esmaltada en blanco).

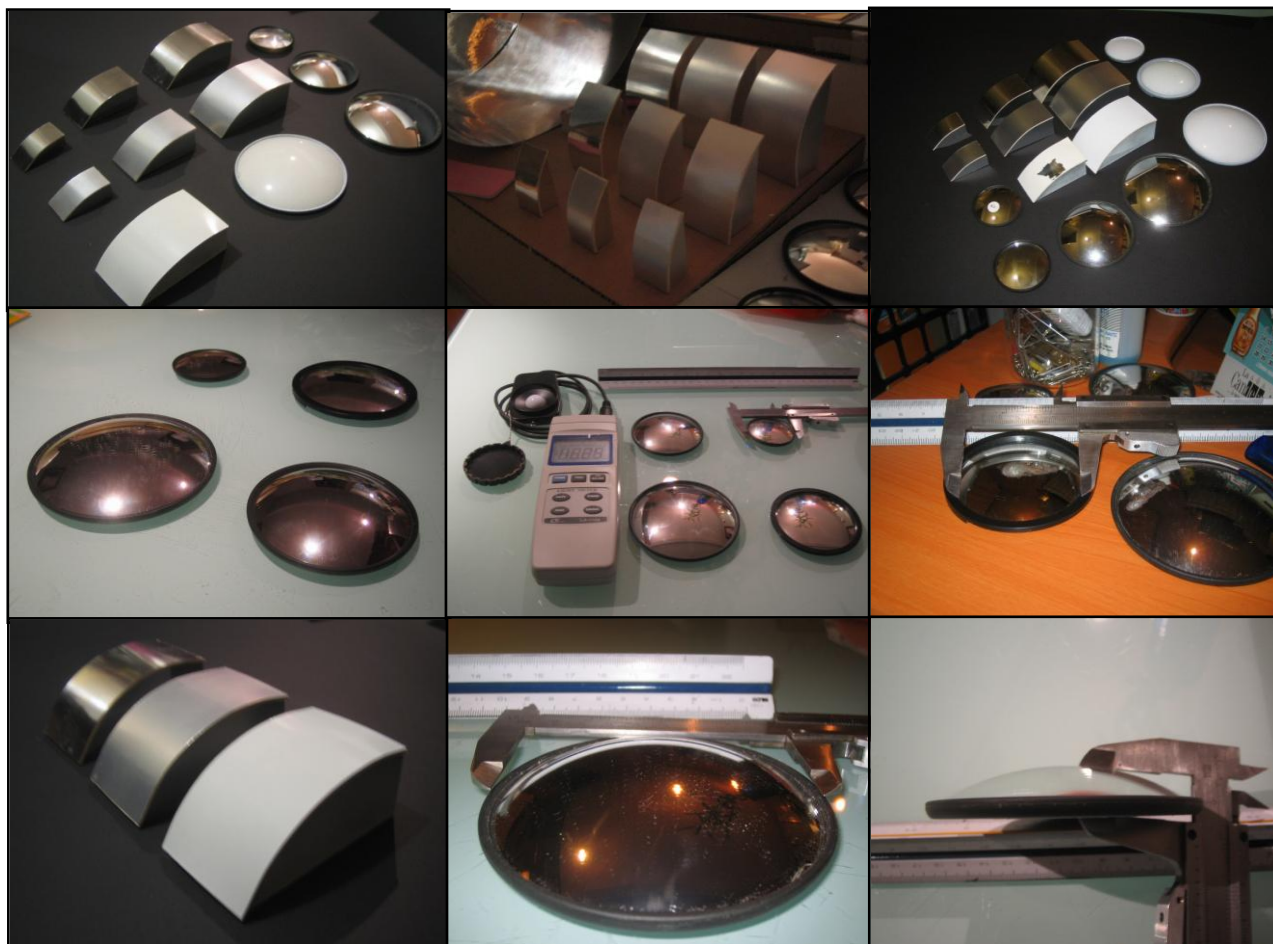


Figura 66: (Dispositivos) Pruebas con diferentes dimensiones, forma, materiales y acabados. Calibrados en dimensiones ancho, largo y alto, de cada modelo se probarán tres tamaños (60, 90 y 120 metros).

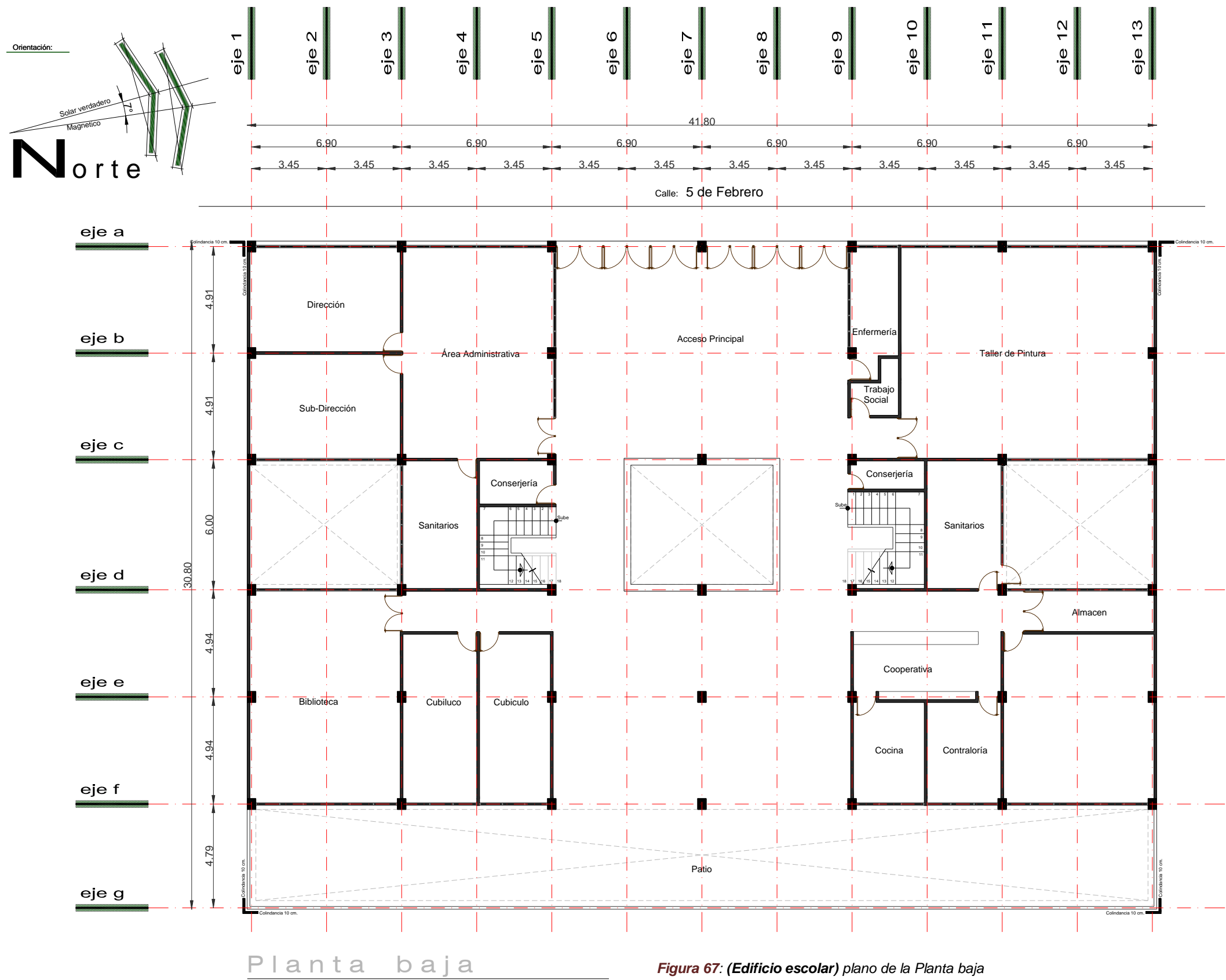


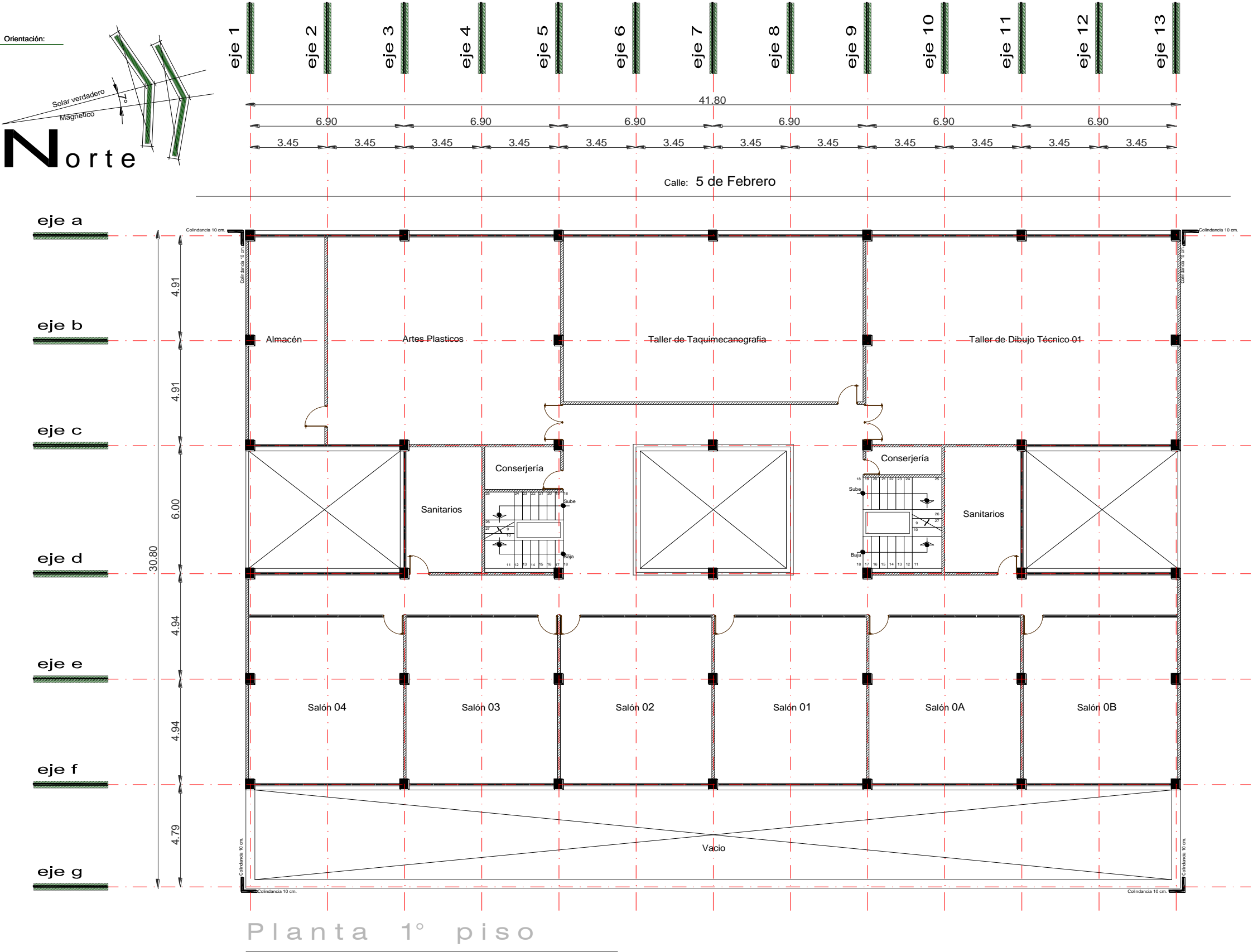
Figura 67: (Edificio escolar) plano de la Planta baja

5.2 Edificio Escolar (Secundaria No.7)

5.2.1 Planos arquitectónicos

La planta baja del edificio escolar se presenta de forma uniforme con tableros rectangulares formado con marcos rígidos de concreto, por medio de este reticulado rige la disposición de los locales de la plata baja (Figura 67).

Los que se ubican en colindancia a la fachada se iluminan y ventilan a la calle (5 de Febrero) y los locales posteriores se orientan a un patio trasero del largo del terreno (41.80 m) y en el otro sentido tine (4.8 m), sin embargo, los edificios colindantes sobrepasan en altura al edificio escolar y obstruyen el paso de la iluminación natural, para los locales intermedios se han dispuesto tres patios o cubos de iluminación, los cuales tiene medidas aproximadas de (5.50 x 5.0 m) las cuales son las medidas mínimas que se requiere en el Reglamento de Construcción para el Distrito Federal (RCDF).



Planos arquitectónicos

En el primer nivel (Figura 68) se ubican salones tipo orientados al patio posterior en los cuales se colocó una estructura de refuerzo (Figura 69) en la parte exterior obstruyendo el paso de luz natural junto con los edificios de la colindancia posterior. Estos salones también tienen ventanas superiores orientadas al patio central que funciona como distribuidor vertical y horizontal con sus pasillos y las dos escaleras a sus costados por lo que en dichos salones se presenta un desconfor visual en los usuarios (alumnos) por lo tanto este nivel será primordial para el estudio del dispositivo de iluminación natural. Las circulaciones del patio central se iluminan por medios artificiales a pesar que se encuentran orientados al patio.



Figura 68 y 69:
(Edificio escolar)

Plano de la planta del 1° nivel y Estructura de refuerzo en fachada principal y fachada posterior.

Planos arquitectónicos

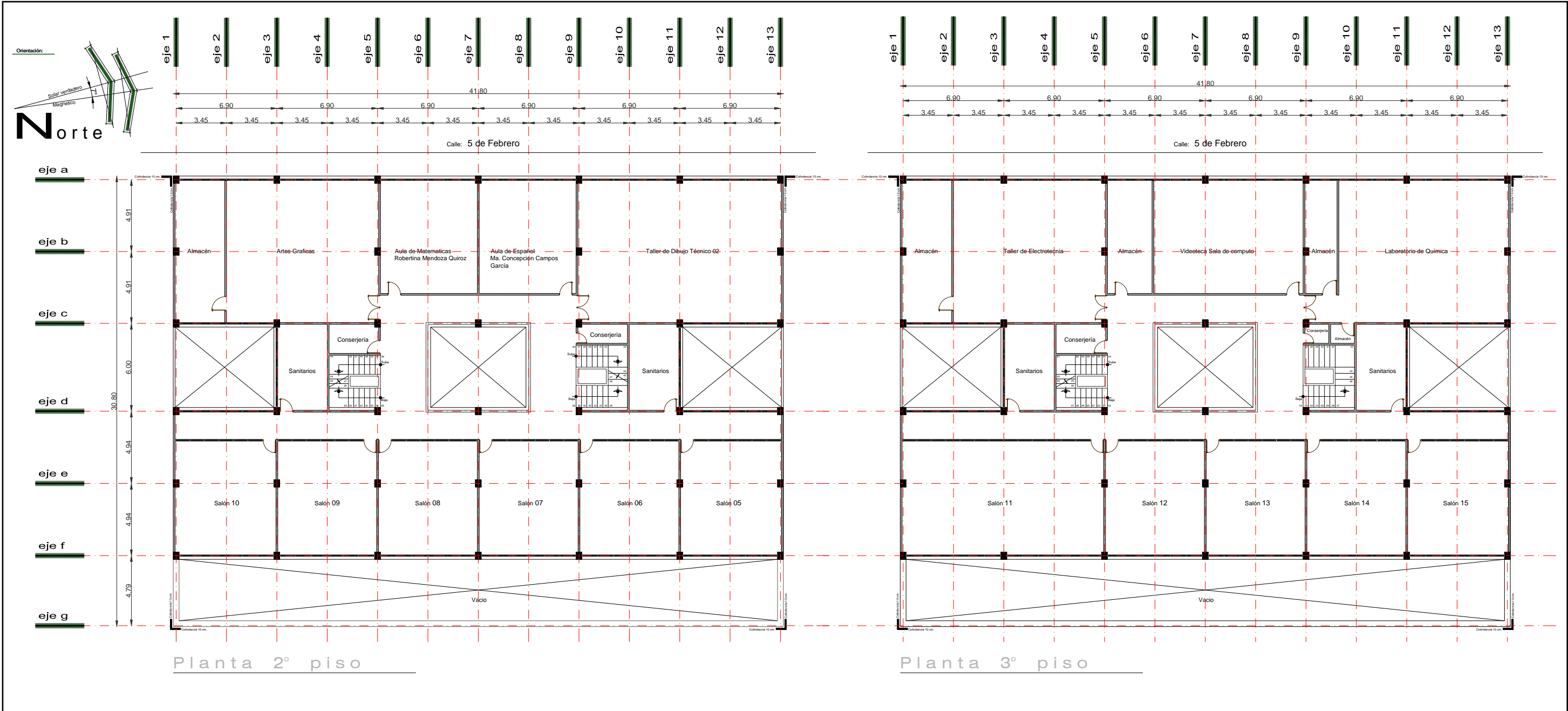
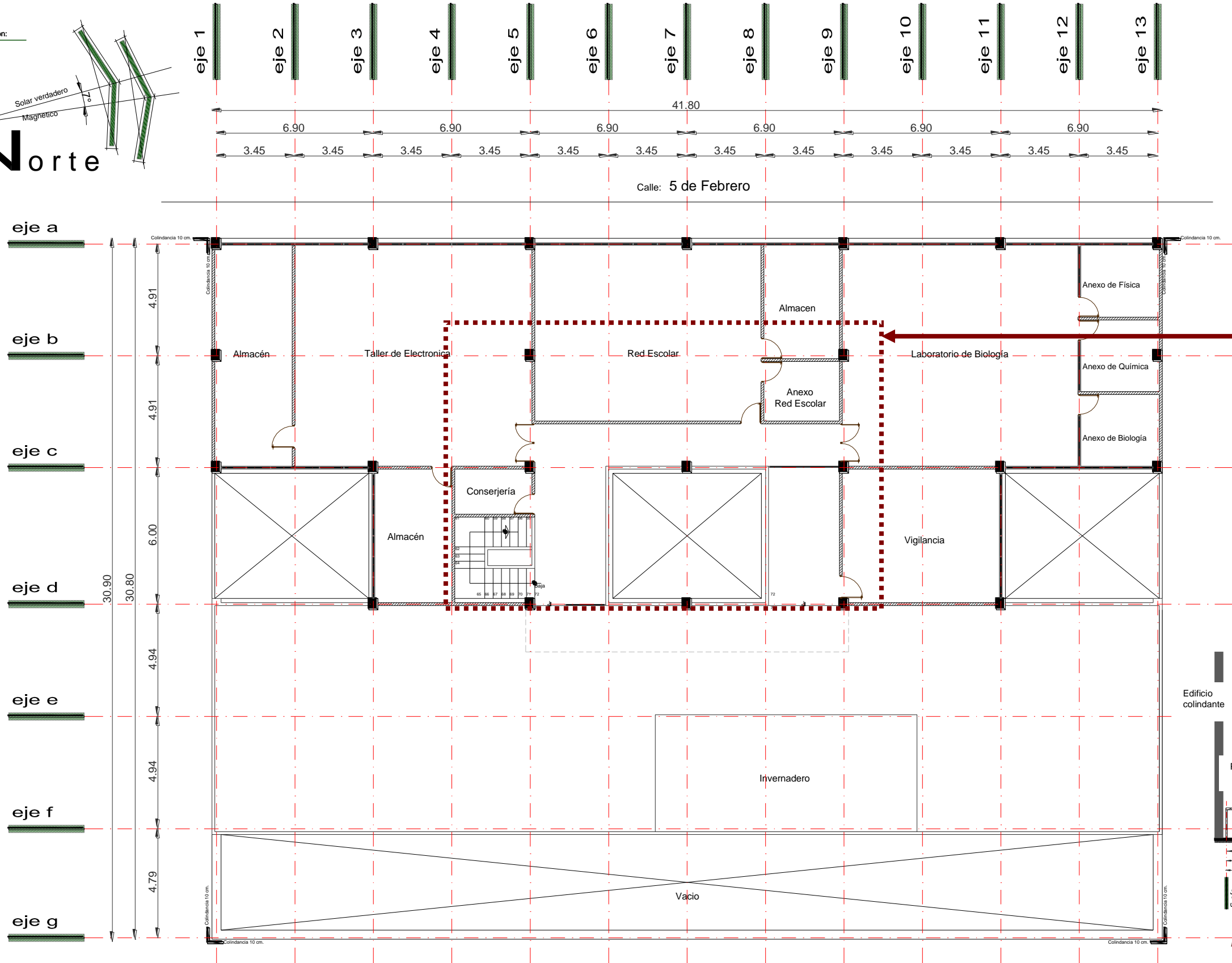
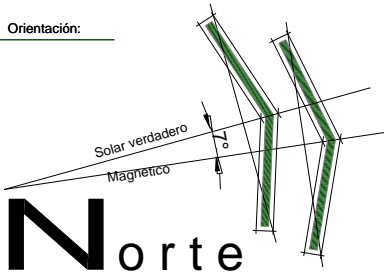


Figura 70 y 71: (Edificio escolar) Plantas del 2º y del 3 er. Nivel

En las siguientes plantas (2º y 3er. Nivel) (Figuras 70 y 71) se emplea para ubicar aulas tipo orientadas al patio posterior y al los patios centrales. Los laboratorios y talleres se orientan a la fachada principal en la **calle 5 de Febrero**⁹. Sin embargo los salones presentan deficiencias en el nivel de iluminación presentadó por las obstrucciones del refuerzo de la reestructuración.

⁹ Fachada principal del Edificio escolar (secundaria Diurna No. 7, nombrada José Manual Ramos) la fachada tiene orientación poniente), y se ubican en esta fachada talleres, laboratorios y aulas magnas.



Planta 4° piso

Figura 72: (Edificio escolar) Plantas del 4to. Nivel

Planos arquitectónicos

La última planta (Figuras 72) se destina sólo la mitad de construcción para talleres orientados a la fachada principal y solo los servicios de éstos a los patios de iluminación, la otra parte de la planta se destina como azotea y se ubica el invernadero del laboratorio de biología.

Área de estudio.
Patio central

En el corte se ve la planta baja y cuatro niveles de aulas y talleres. Del lado izquierdo se ubican las aulas orientadas al patio posterior y al patio central (Figuras 73). En la fachada posterior se colocó un sistema de refuerzo estructural obstruyendo el paso de luz en las aulas.

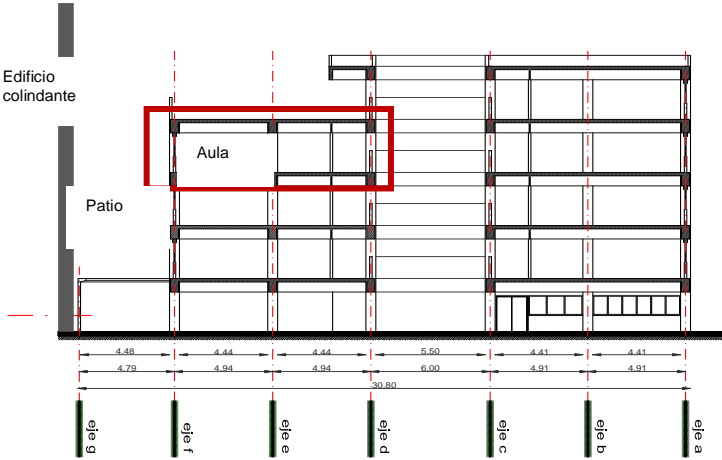
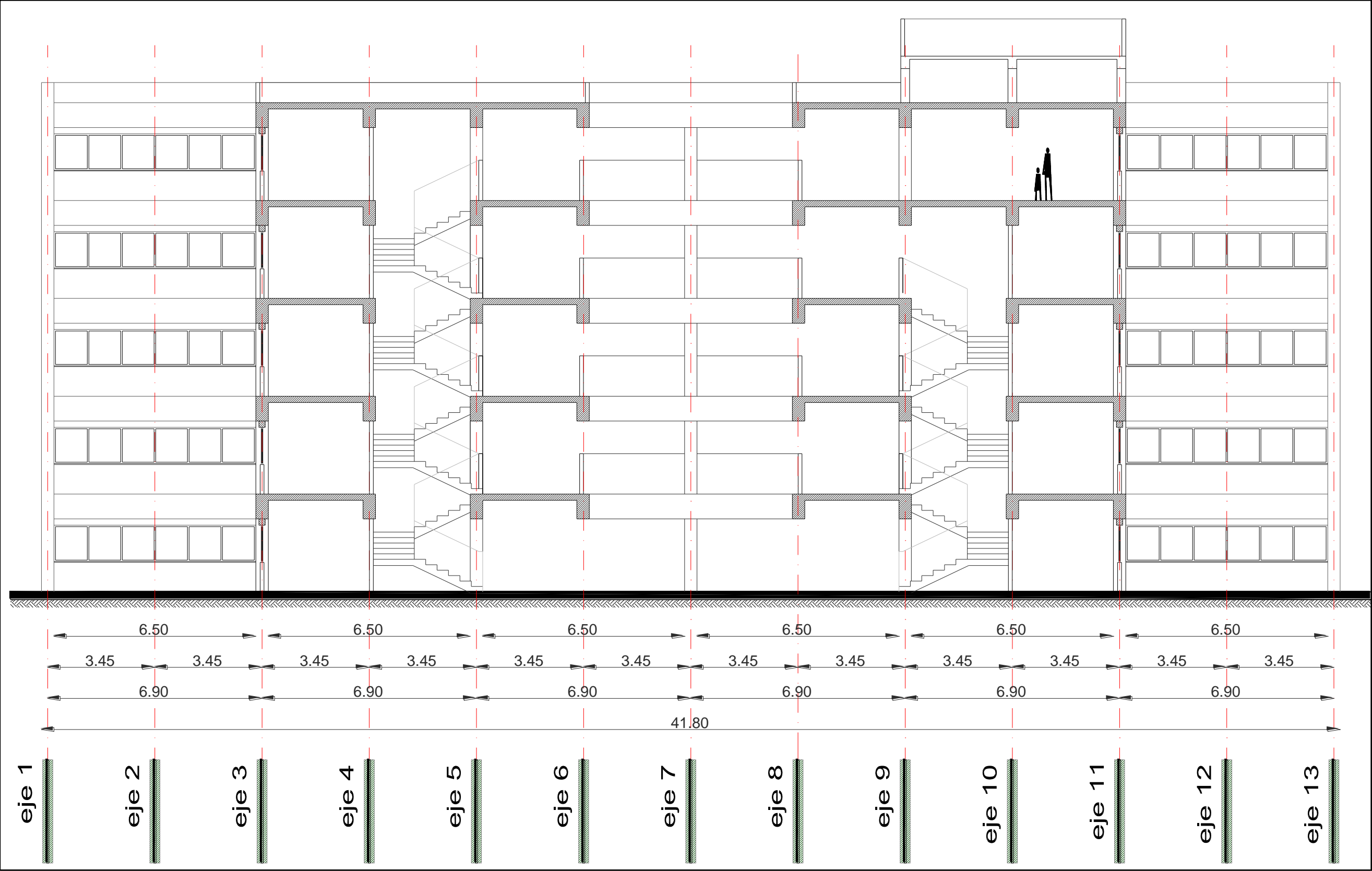


Figura 73: (Edificio escolar) Corte transversal



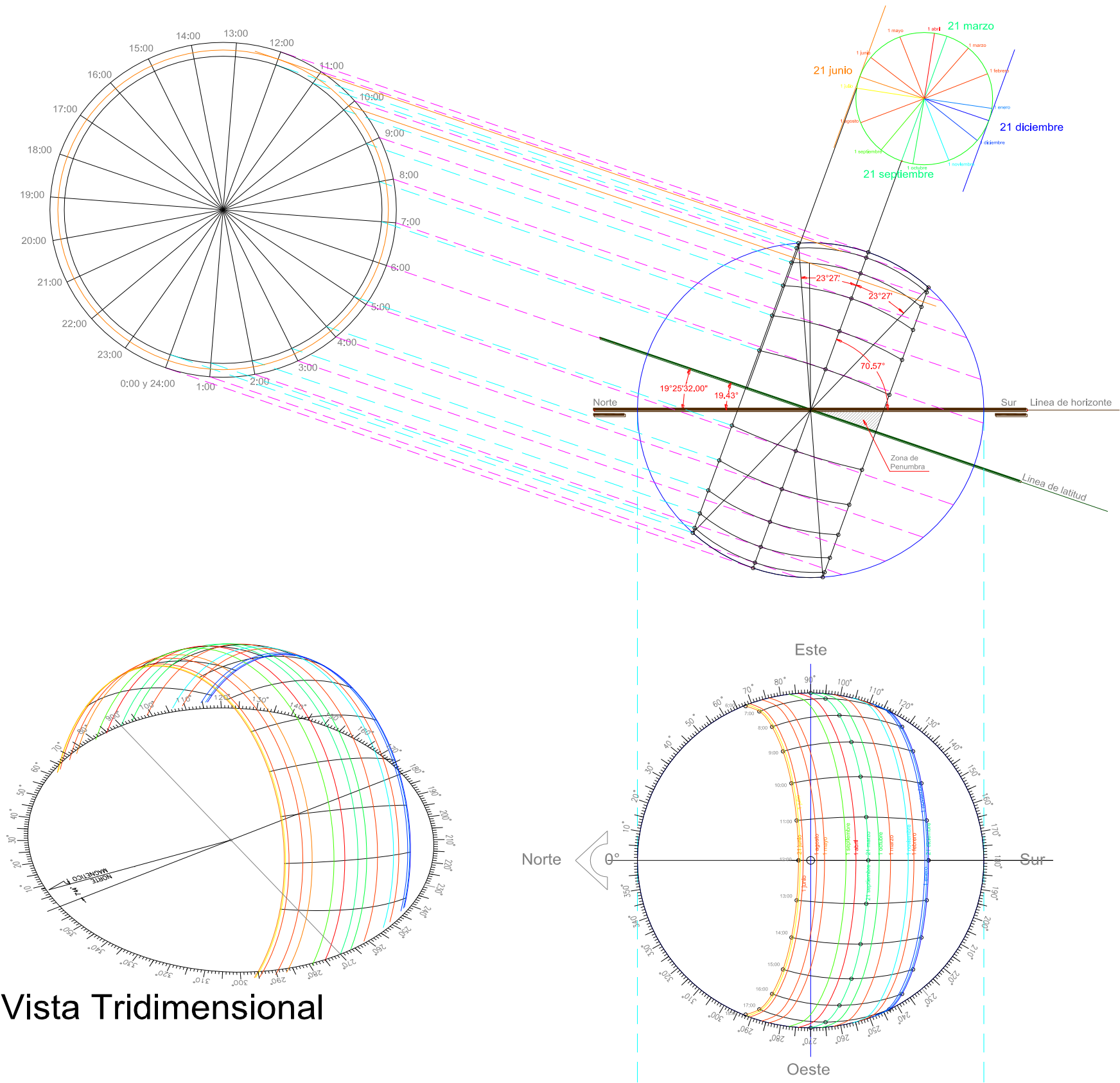
Planos arquitectónicos

Viendo el edificio en corte longitudinal (Figura 74) se aprecia el patio con sus pasillos y escaleras en la parte superior del pretil del patio se destinará para instalar el dispositivo de iluminación de alta eficiencia con la finalidad de reflejar los rayos luminosos (rayos solares) para iluminar los pasillos y a su vez las aulas orientadas a estos.

Figura 74: (Edificio escolar) Corte longitudinal

5.2.2 Montea solar.

Se trazó la montea solar (Figura 75) para dibujar los rayos solares en diferentes horas y sobreponerlos en el corte arquitectónico para verificar las múltiples reflexiones propiciadas por el dispositivo propuesto. La ayuda de la mecánica solar fue fundamental en el trazo de los rayos solares en los cortes probando matemáticamente por las leyes de la reflexión en espejos cóncavos, por lo que la por medio de la montea se obtuvieron los rayos en altitud y azimut en sus dimensiones reales.



Vista Tridimensional

Figura 75: (Edificio escolar) Montea Solar

5.2.3 Niveles de confort visual

Los niveles de requerimientos (Figura 76) de confort visual se establecieron de acuerdo con el Reglamento Construcción para el Distrito Federal. La tabulación se representa en la planta de cada nivel con la finalidad de asegurar que el dispositivo cubra el mínimo requerido.

Niveles de iluminación

50 Lux	Bodega, Conserjería, Almacenes, etc.
75 Lux	Sanitarios, cuarto de lavado, etc.
100 Lux	Accesos.
150 Lux	Circulaciones, etc.
200 Lux	Vestíbulo, Escaleras.
250 Lux	Cocina, Servicios, etc.
300 Lux	Cubículos, Sala de lectura, etc.
500 Lux	Aulas, Talleres.
1000 Lux	Laboratorios, etc.
	Talleres de dibujo, diseño gráfico, etc.
	Trabajos de alta pintura, etc.

Figura 76: (Edificio escolar)
Tabla de niveles de confort visual.

Los niveles mínimos para la planta baja varían desde 100 lux en el patio techado hasta 1000 lux en el taller de pintura. Principalmente se analizará el comportamiento de la parte central de la planta (Figura 77).



Figura 77: (Edificio escolar) Nivel de confort lumínico y visual en los espacios. Marcando el nivel mínimo requerido por el RCDF en Lux para locales habitables o zonas de trabajo.

Niveles de confort visual

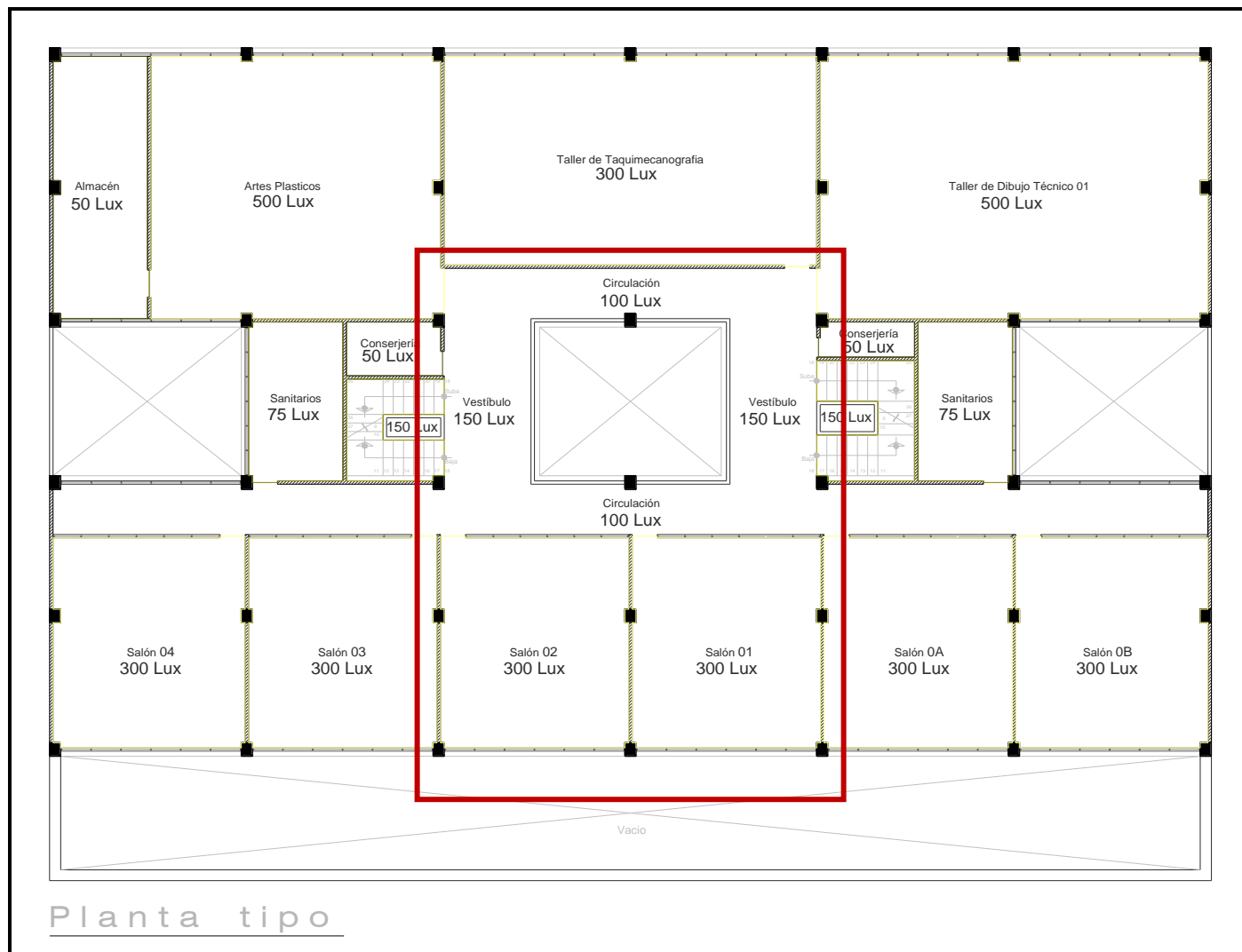


Figura 78: (Edificio escolar) Nivel de confort lumínico y visual en los espacios. Marcando el nivel mínimo requerido por el RCDF en Lux en la planta Tipo

En la planta tipo (Figura 78) se estableció 300 lux como mínimo de requerimiento de confort visual en los salones y talleres de taquimecanografía y en los talleres de artes plásticas y dibujo técnico se determinó 500 lux, y los servicios como circulaciones 100 lux; vestíbulos y escaleras 150 lux; sanitarios 75 lux y almacenes y conserjería 50 lux.

El estudio se realizó en la parte central con los salones 01 y 02 y las circulaciones del patio central ya que los talleres y laboratorios que se orientan a la fachada principal se alimentan de iluminación natural por esta fachada la cual da a la calle de 5 de Febrero.

5.2.4 Ubicación de los puntos de medición

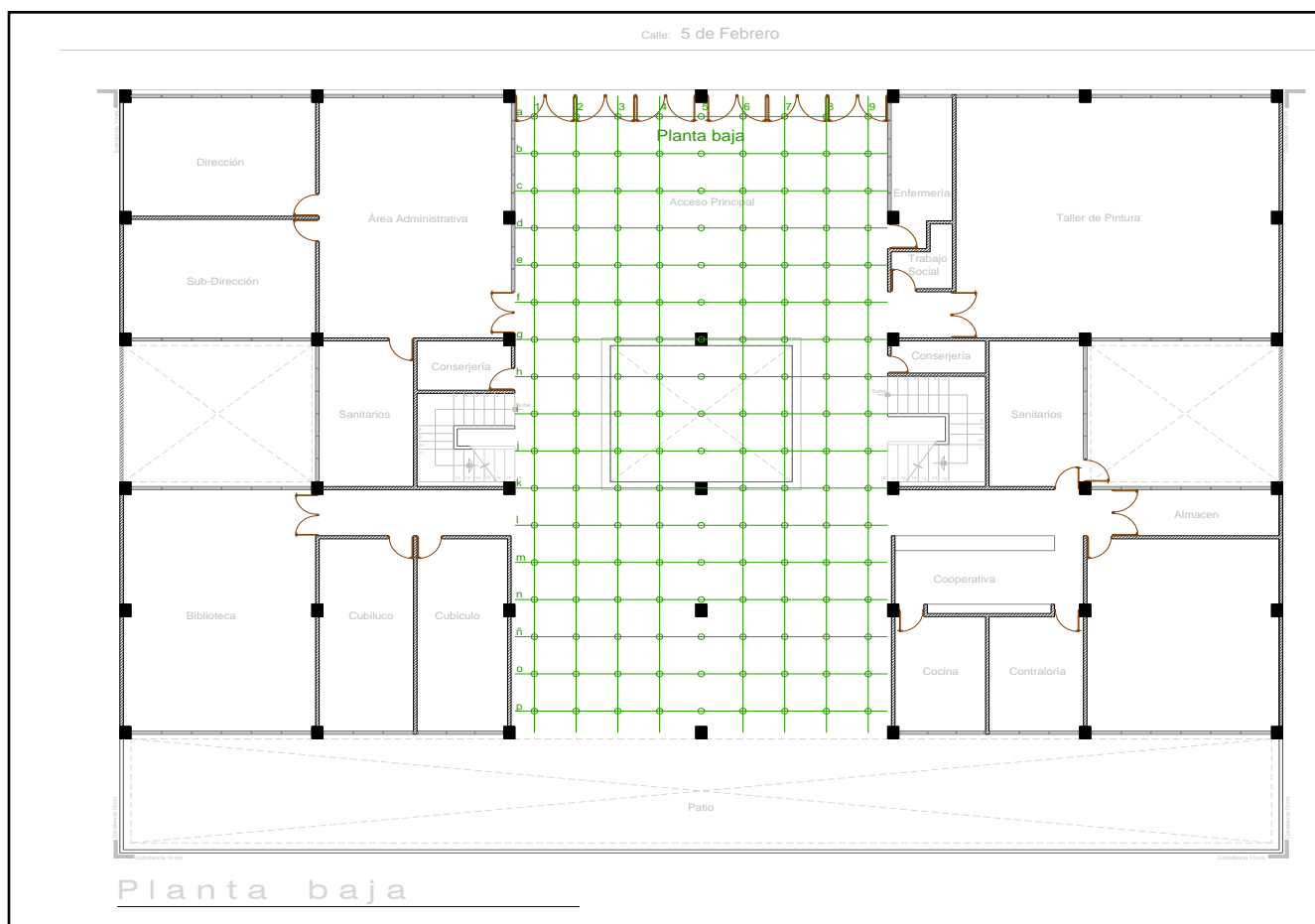


Figura 79: (Edificio escolar) Trazo de retícula

En las plantas arquitectónicas se trazó una retícula (Figura 79) con la finalidad de realizar un levantamiento de niveles de LUX¹⁰ en el edificio real para compararla con la maqueta verificando que el nivel sea el mismo junto con el nivel de factor de día. Posteriormente elaborar una gráfica de Isolux. La disposición de la retícula está basada en un modulo de 1.50 x 1.50 m. excepto en los costados del perímetro el cual es de 75 cm para lograr una retícula uniforme. En esta planta se levantó todo el patio techado porque es el que presenta el menor confort visual de los usuarios. En la parte delantera del patio está el acceso al edificio y es la parte con menor nivel de lux.

¹⁰ Unidad de luminancia o luz que baña una superficie. Un lux equivale a un lumen por metro cuadrado. 10.76 lux equivalen a un pie-candela.

Ubicación de los puntos de medición

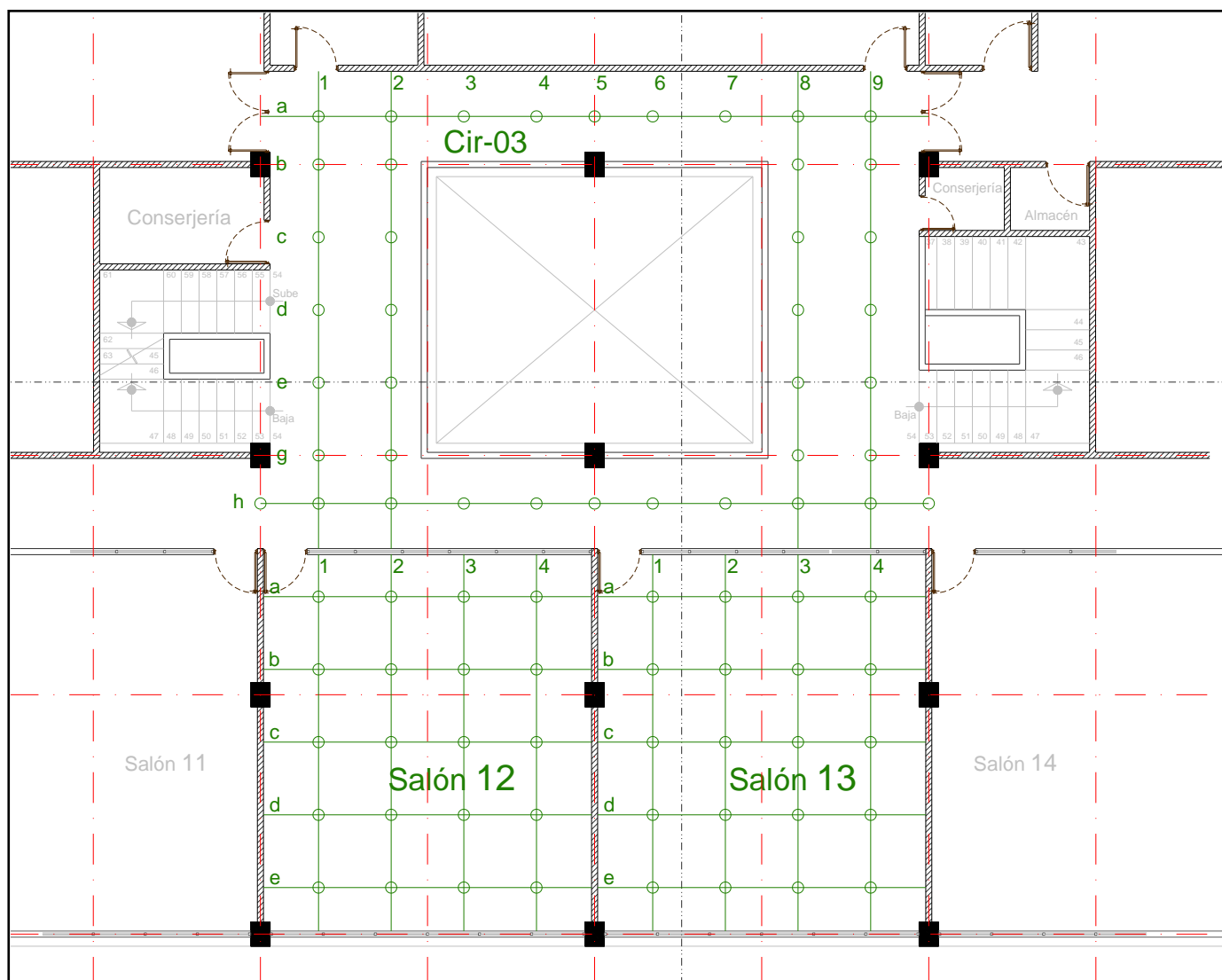
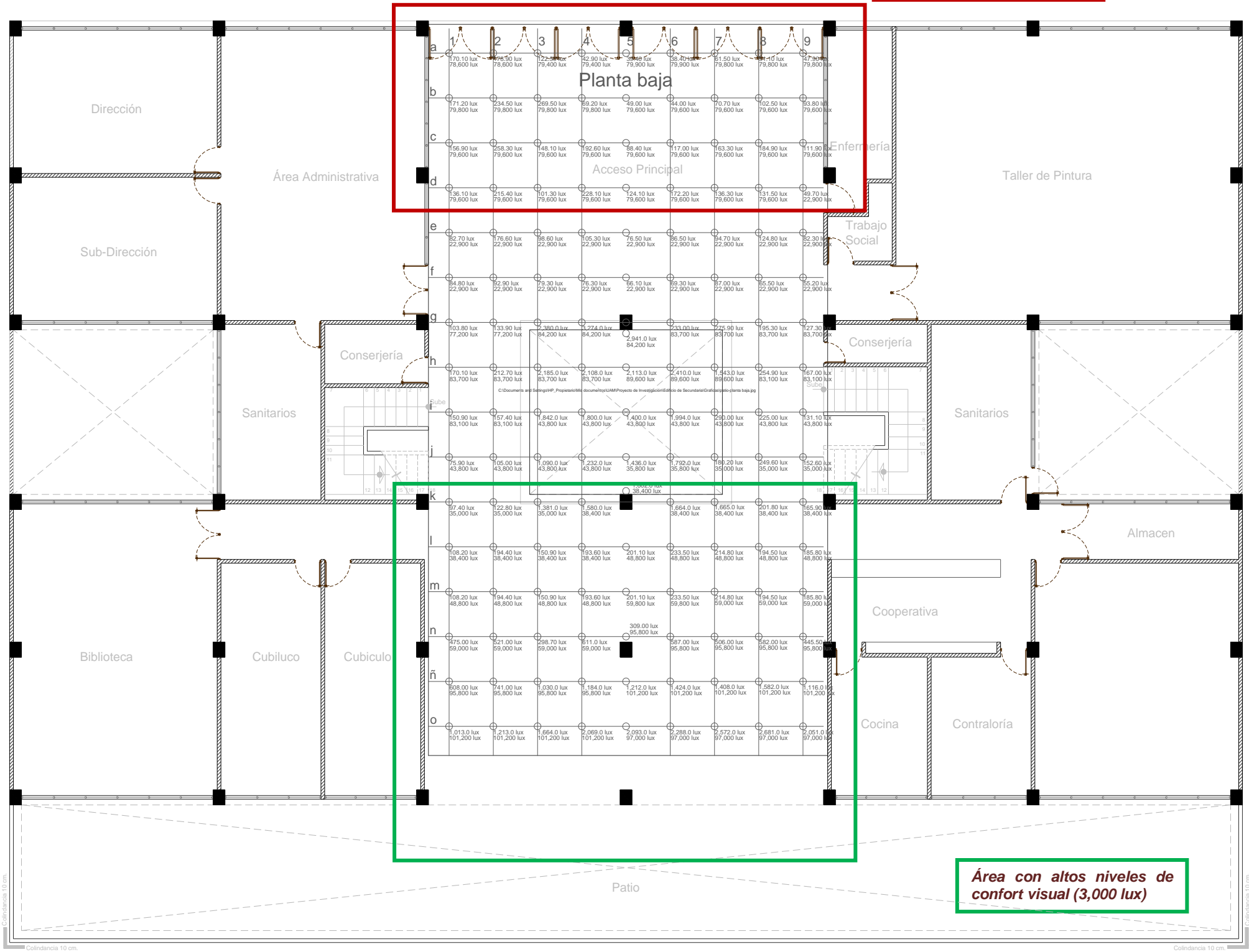


Figura 80: (Edificio escolar) ubicación de la red en las aulas y en los pasillos en la planta tipo

Planta Tipo

En la planta tipo de las aulas se dispuso realizar retículas en cada salón y los pasillos se uniformizó (Figura 80). Los salones presentan una retícula de 20 puntos los cuales corresponden a el número de pupitres por aula, también se tomó la lectura de lux a nivel de la mesa de trabajo (75 cm.) en el edificio y en el modelo a escala la modulación se sigue respetando como la planta baja (150 x 150 m). Los pasillos de la derecha e izquierda sirven como vestíbulos de las escaleras en cada nivel por lo que se planteó dos líneas de puntos y en los pasillos de las aulas y talleres se dispuso una sola línea por lo estrecho del pasillo. Esta retícula se repite en los tres niveles tipo y en el último solo se presenta en los pasillos.

Área de bajos niveles de confort visual (40 lux)



5.2.5 Niveles de iluminación actuales

Se registraron niveles (Figura 81) por debajo de lo requerido por los estándares nacionales e internacionales, en la parte del acceso principal, los vestíbulos se iluminaron un poco gracias al patio central y la parte más cercana al patio posterior se iluminó rebasando los niveles de requerimiento por el mismo patio.

El levantamiento de los puntos y mediciones se realizó en un día nublado, comenzando las mediciones a las 10:00 horas y terminando de tomar las lecturas a las 14:00 horas, por lo tanto, se registraron medidas desde 40 lux hasta 3000 lux, por lo cual, se produce un efecto de deslumbramiento en los usuarios con los cambios bruscos de nivel y baja visualidad en la parte del acceso principal.

Figura 81: (Edificio escolar) Área con registro de niveles en planta baja

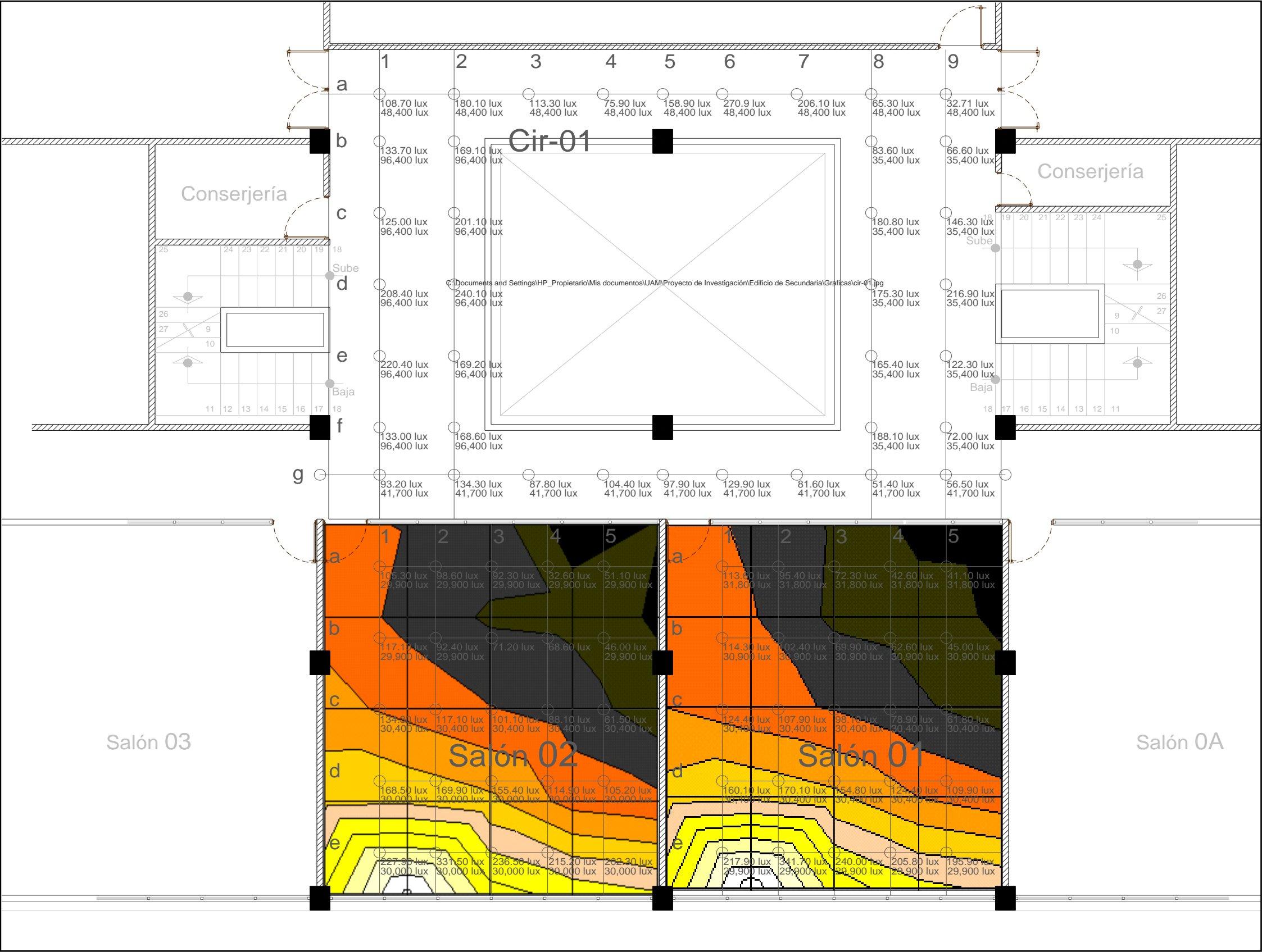


Figura 82: (Edificio escolar) Salones del primer nivel (caso de estudio)

Niveles de iluminación actuales

Los salones o aulas del primer nivel (Figura 82) son los más afectados por ser la primera planta y la última donde llegan los rayos solares junto con el pasillo de este nivel. Las aulas presentan una zona de penumbra en la esquina derecha superior donde la ventana (Figura 83) de ese punto está en la parte más alta del muro y se llegan a registrar niveles de 50 lux teniendo un contraste con su contra parte la esquina inferior izquierda la cual registra hasta 300 lux lo cual el nivel requerido como mínimo establecido en el RCDF.



Figura 83: (Edificio escolar) Ventanas orientadas a los pasillos del patio central

Niveles de iluminación actuales

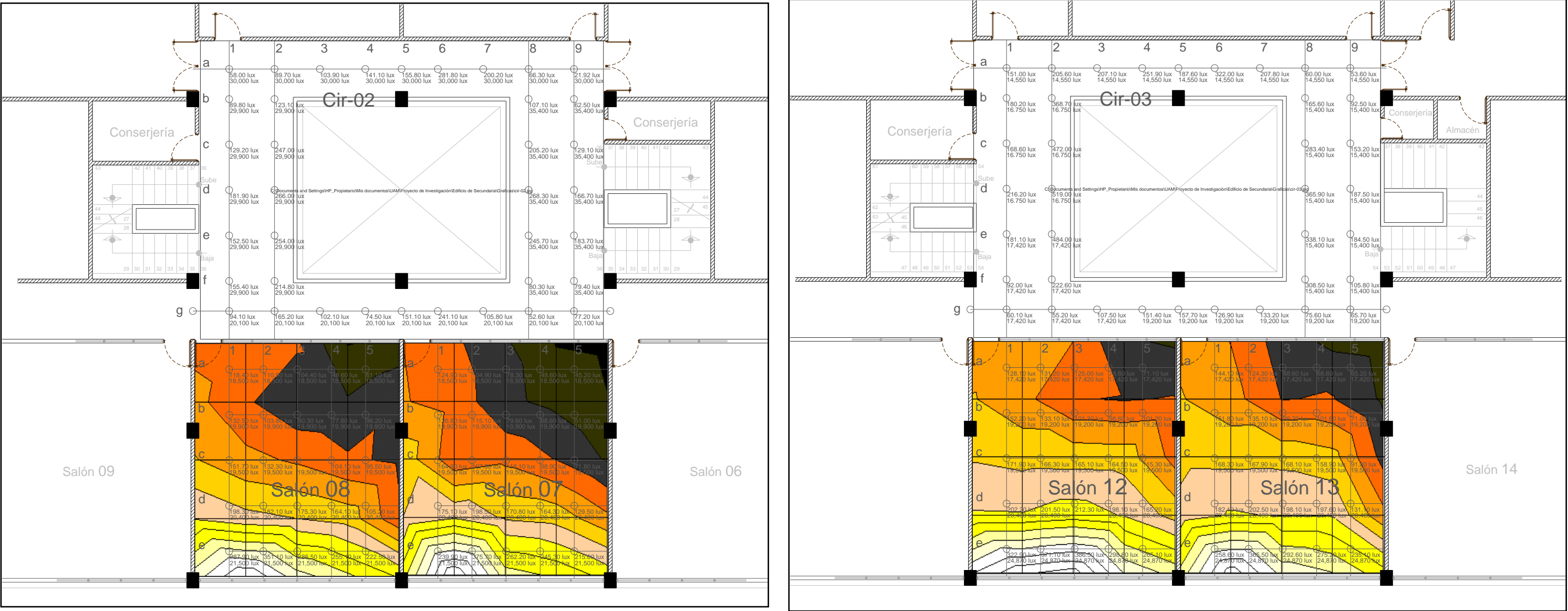
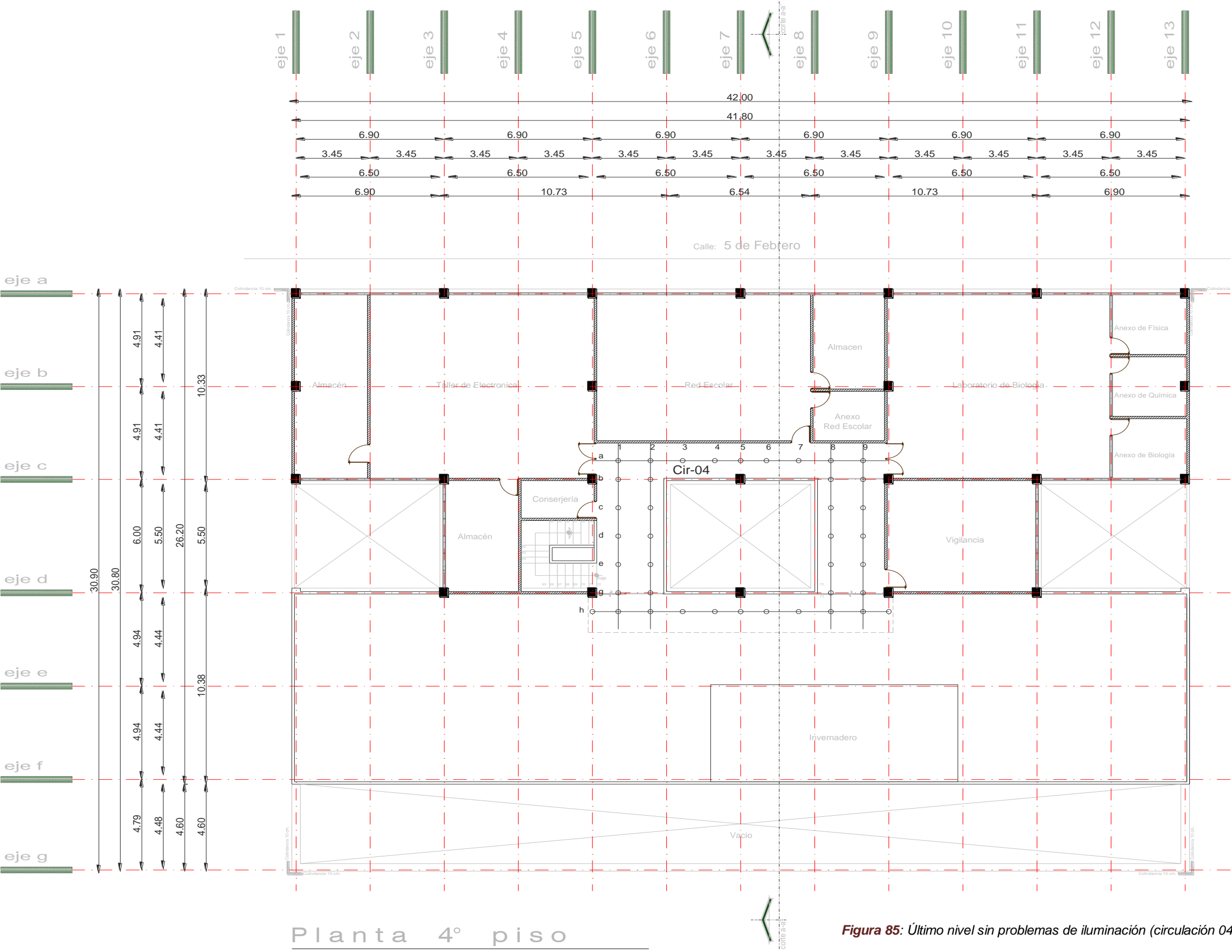


Figura 84: (Edificio escolar) plantas con la iluminación actual en salones tipo (07, 08, 12 y 13; Circulaciones 02 y 03)

En el primer nivel se tomaron las mediadas en la retícula planeada y se sobre puso la imagen de la gráfica se isolux para visualizar las áreas de penumbra y zonas de confort visual.

Las áreas oscuras representan niveles de 20 lux, verde de 50 lux, gris de 80 lux, naranja, 100 lux amarillo, 180 lux y blanco 300 lux el cual es lo mínimo de lo requerido en el Reglamento de Construcción para el Distrito Federal.

En los pasillos solo se marcaron los niveles, los cuales van desde los 30 lux hasta los 250 lux siendo que el mínimo para los vestíbulos de 150 lux y en los pasillos en general de 100 lux, (Figura 84).

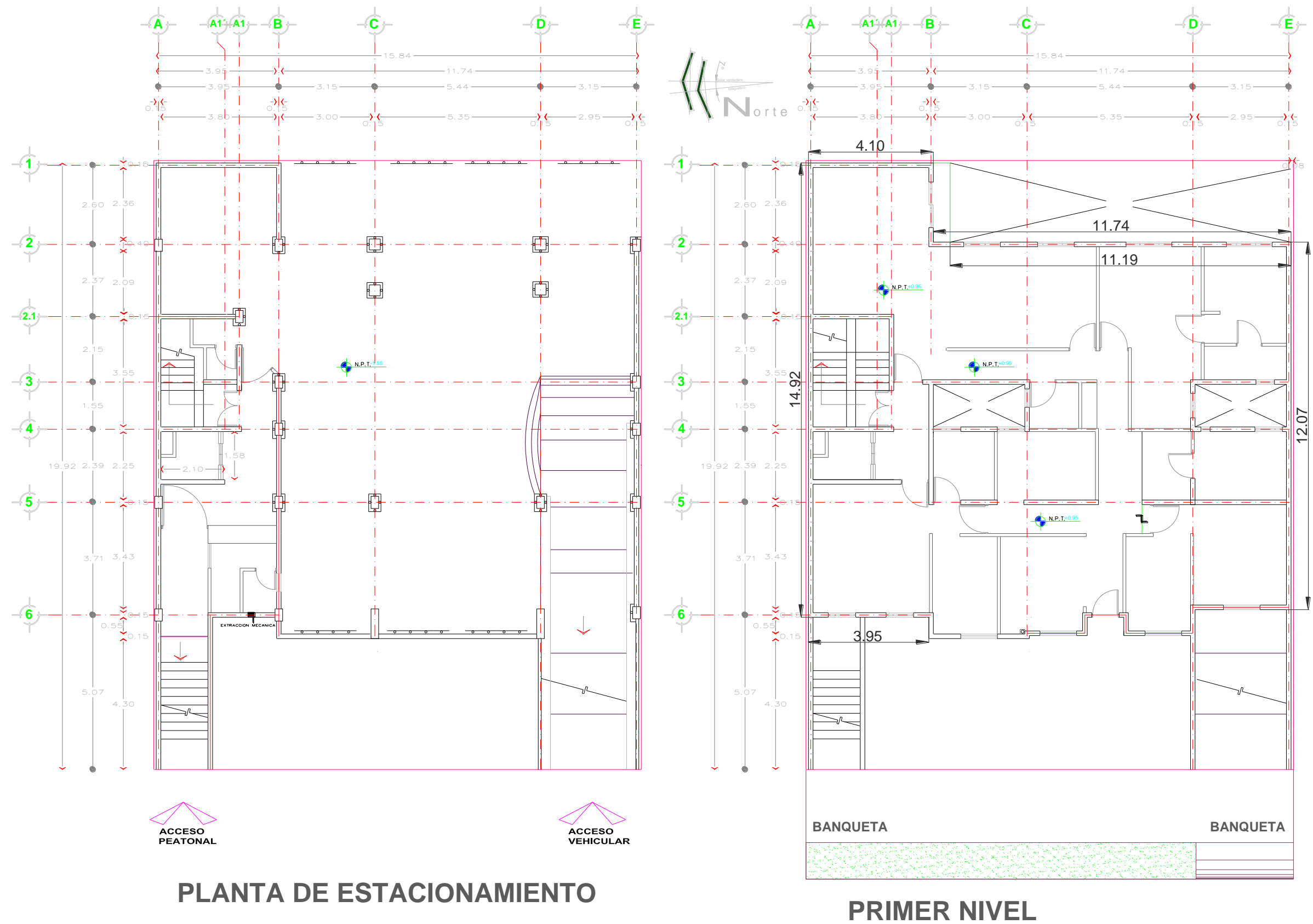


Niveles de iluminación actuales

En los siguientes niveles se presenta un patrón similar al primer nivel, los salones se comportan con niveles bajos en la esquina superior.

La ventana que está orientada al patio posterior la cual se ve un poco obstruida por la parte de la reestructuración y no permite que la luz natural penetre al fondo del salón. Pero particularmente en el último nivel, por la altura ya no se presentan problemas de confort visual (Figura 85) y en los pasillos de circulación se sobre pasa de los mínimos llegando a niveles hasta de 520 lux.

Figura 85: Último nivel sin problemas de iluminación (circulación 04) laboratorios y talleres.



5.3 Edificio Habitacional (Departamentos)

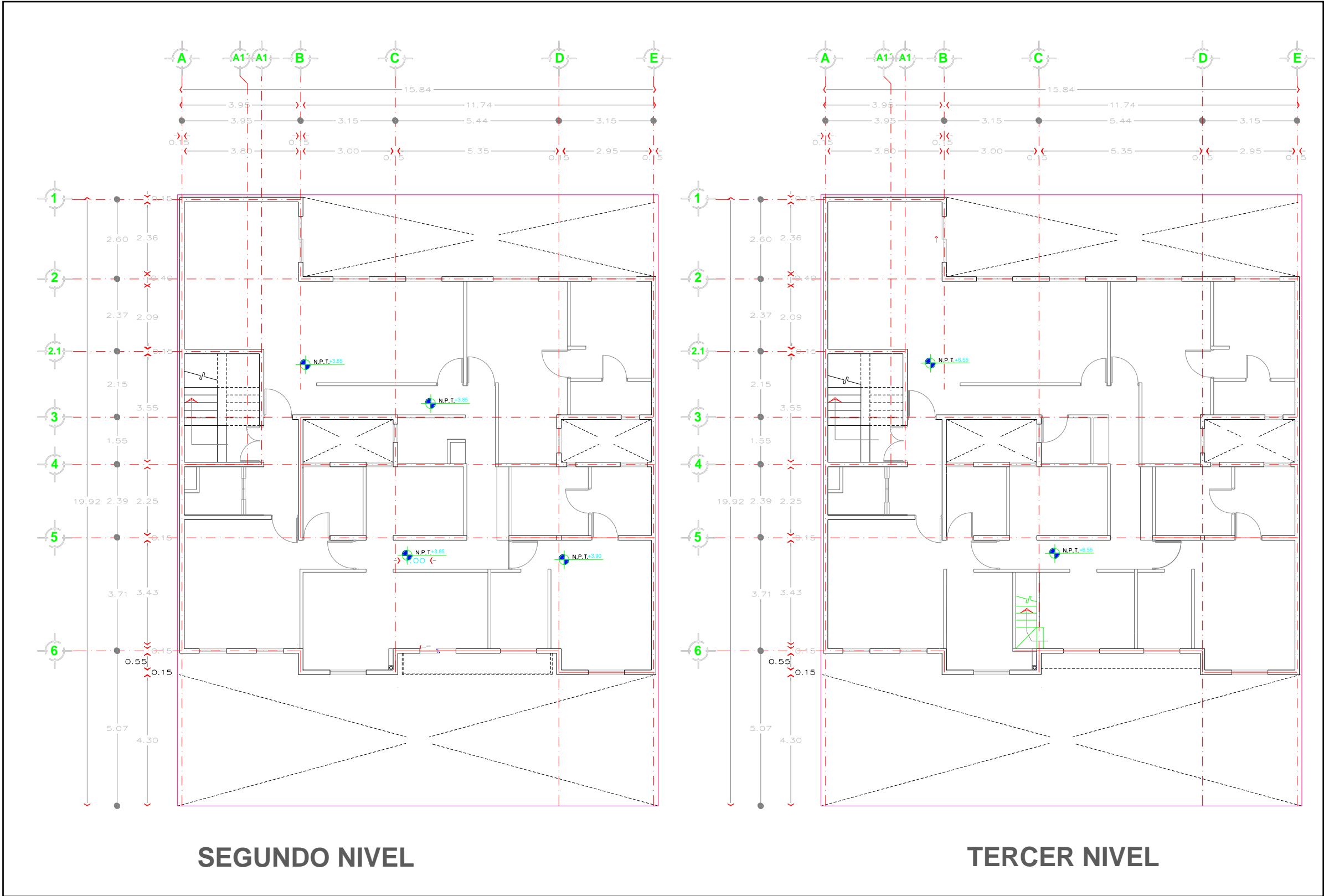
5.3.1 Planos arquitectónicos

El caso de estudio “B” es un edificio de departamentos ubicado en la calle Moliere en la colonia Polanco en la ciudad de México, dicho edificio tiene un sótano como estacionamiento y es el acceso peatonal al propio edificio, el edificio tiene cuatro niveles de departamento de lujo.

El sótano tiene dos accesos: uno peatonal y el vehicular, la iluminación natural proviene de tres zonas: acceso vehicular, patio posterior y los dos cubos de iluminación, por lo tanto esta iluminación es muy escasa y de mala calidad por lo que este nivel es el más problemático.

La planta baja tiene el primer departamento con espacios habitables con orientación al frente y a la fachada posterior y los servicios se orientan a los cubos de iluminación y ventilación, (Figura 86).

Figura 86: (Edificio habitacional) distribución arquitectónica (planta de sótano “estacionamiento” y primer nivel).



Planos arquitectónicos

Los dos siguientes niveles se componen de departamentos con la misma disposición de la planta baja, con espacios habitables orientados a las dos fachadas (principal y posterior) y los servicios a los cubos de iluminación, (Figura 87).

Al patio posterior se ubica la recámara de servicio, cocina, comedor y estancia; en la fachada principal se orientan las recámaras y salas familiares. Para los cubos de iluminación se orientan: desayunador, baño principal y baño de servicio; para el otro patio se ubica el acceso al departamento, vestíbulo de las escaleras y elevador, toilette, baño completo y cuarto de lavado.

Los espacios más conflictivos en cuestión de confort lumínico se centran en las áreas de servicio por lo estrecho y alto del cubo de iluminación la esbeltez provocada por las dimensiones evita el suministro de la luz natural.

Figura87: (Edificio habitacional) distribución arquitectónica de los departamentos (segundo y tercer nivel).

Planos arquitectónicos

El último nivel es para medio departamento del nivel inferior, en este nivel es para la recámara principal orientada a la terraza, doble altura para la sala familiar del tercer nivel, vestidor y baño completo orientados a los cubos de iluminación y terraza al aire libre. En la planta de azotea se ubican los tinacos tanque de gas y la cubierta principal es a dos aguas que dando sin pretil los cubos de iluminación para la instalación de los dispositivos, (Figura 88).

En el cuarto nivel se pretende construir un pequeño salón en la azotea posterior orientado al patio trasero con una cubierta ligera provocando mayor esbeltez a los cubos de iluminación y ventilación centrales. En la actualidad queda un lado de los cubos (en el cuarto nivel) que al aire libre con una estructura de protección permitiendo la entrada de los rayos solares de la mañana.

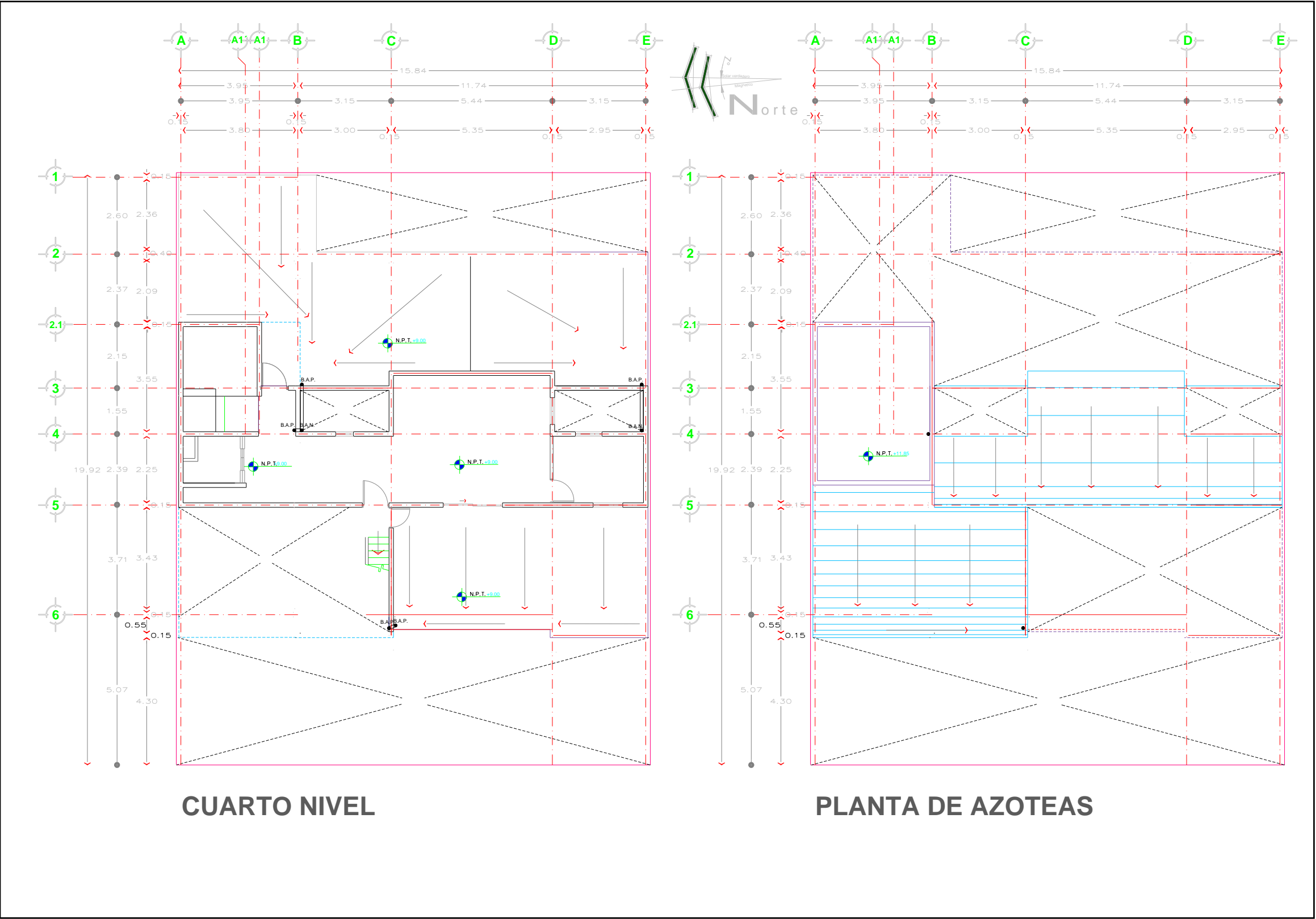
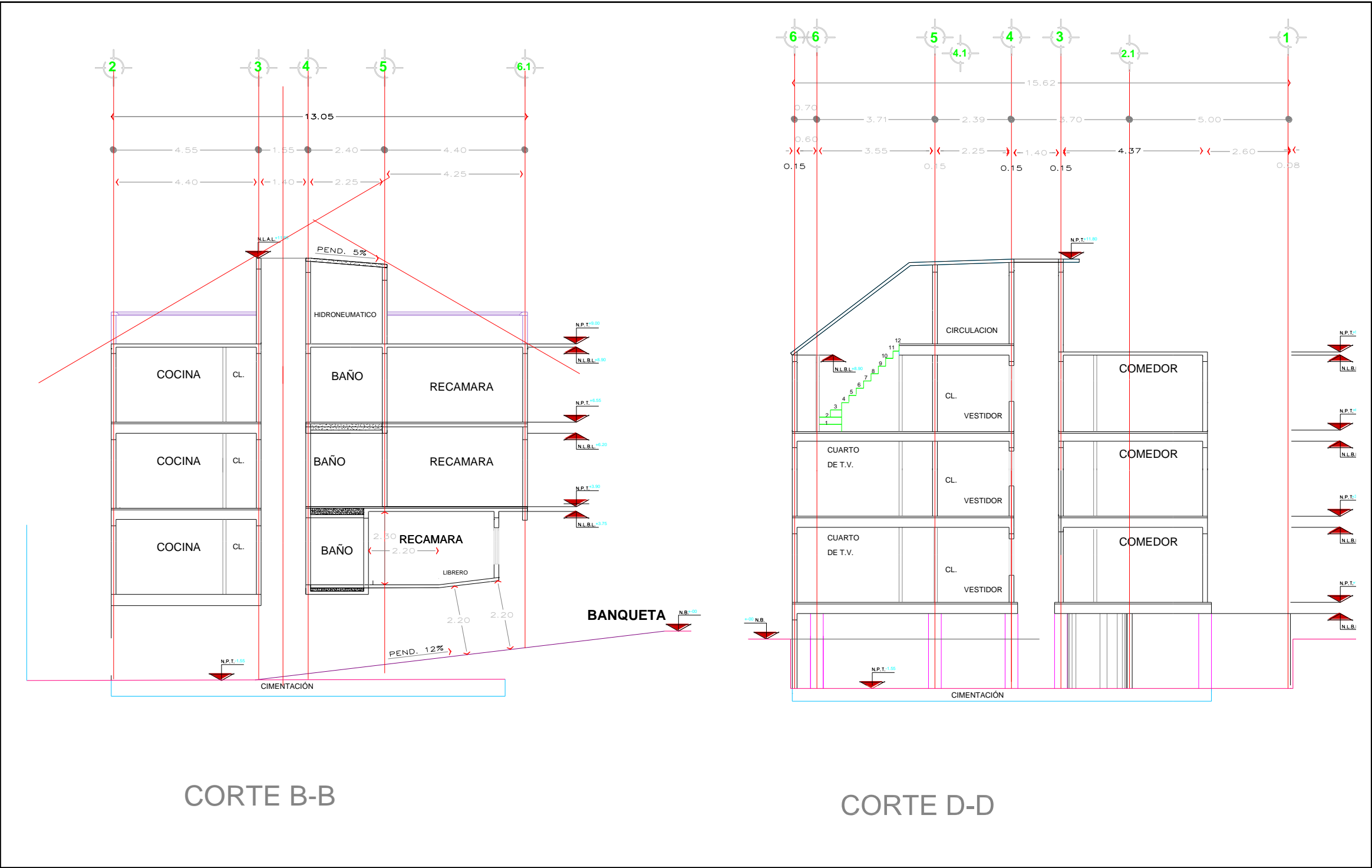


Figura 88: (Edificio habitacional) distribución arquitectónica medio departamento y azotea (cuarto nivel y azotea).



Planos arquitectónicos

En los cortes se aprecia el nivel de acceso +/- 0.00 y el sótano con la iluminación de los cubos y el patio trasero, tres niveles de departamentos y el cuarto nivel medio departamento, las cubiertas a dos aguas y principalmente lo estrecho y esbelto de los cubos de iluminación y ventilación los cuales no cubren las medidas mínimas planteadas por el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal.

En el corte B-B (Figura 89) las habitaciones orientadas a los cubos son toilette y el baño completo de las recamaras en los tres niveles tipo y para el cuarto nivel se orienta el vestidor de la recámara principal.

En el corte D-D (Figura 89) se aprecia longitudinalmente el sótano con solo como fuente luminosa el cubo central y a este se orienta el desayunador, toilette y baño completo de recámaras para los niveles tipo y para el cuarto nivel el vestidor de la recámara principal.

Figura 89: (Edificio habitacional) cortes transversales y longitudinal con la sección de los cubos de iluminación.

5.3.2 Montea solar..

Se trazó la montea solar (Figura 90), para determinar los rayos solares de diferentes fechas y horas para sobreponerlos en el corte arquitectónico con el dispositivo para comprobar la reflexión del dispositivo y ayuda a construir un reloj solar para fijar el apuntador láser para la verificación visual.

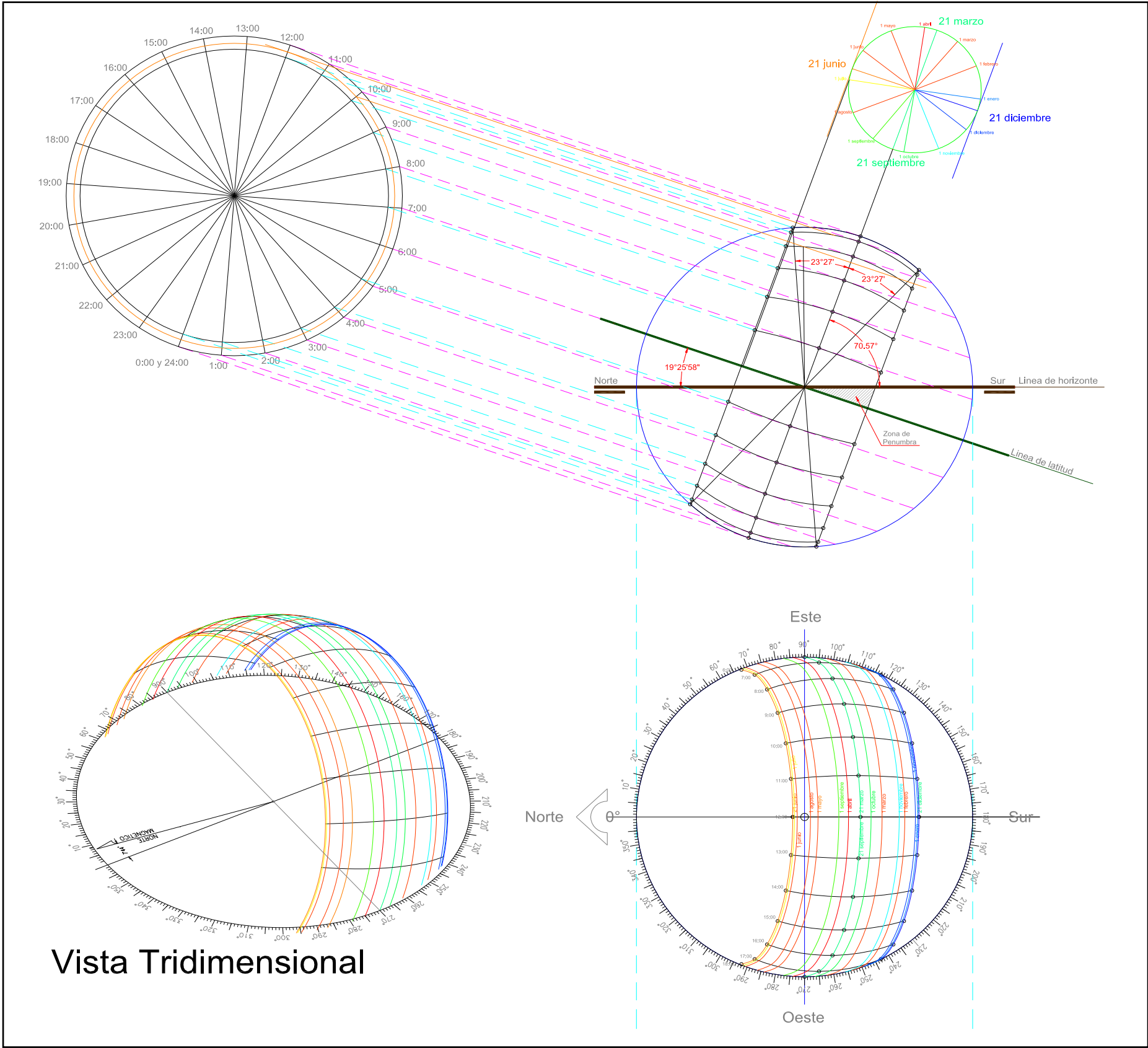
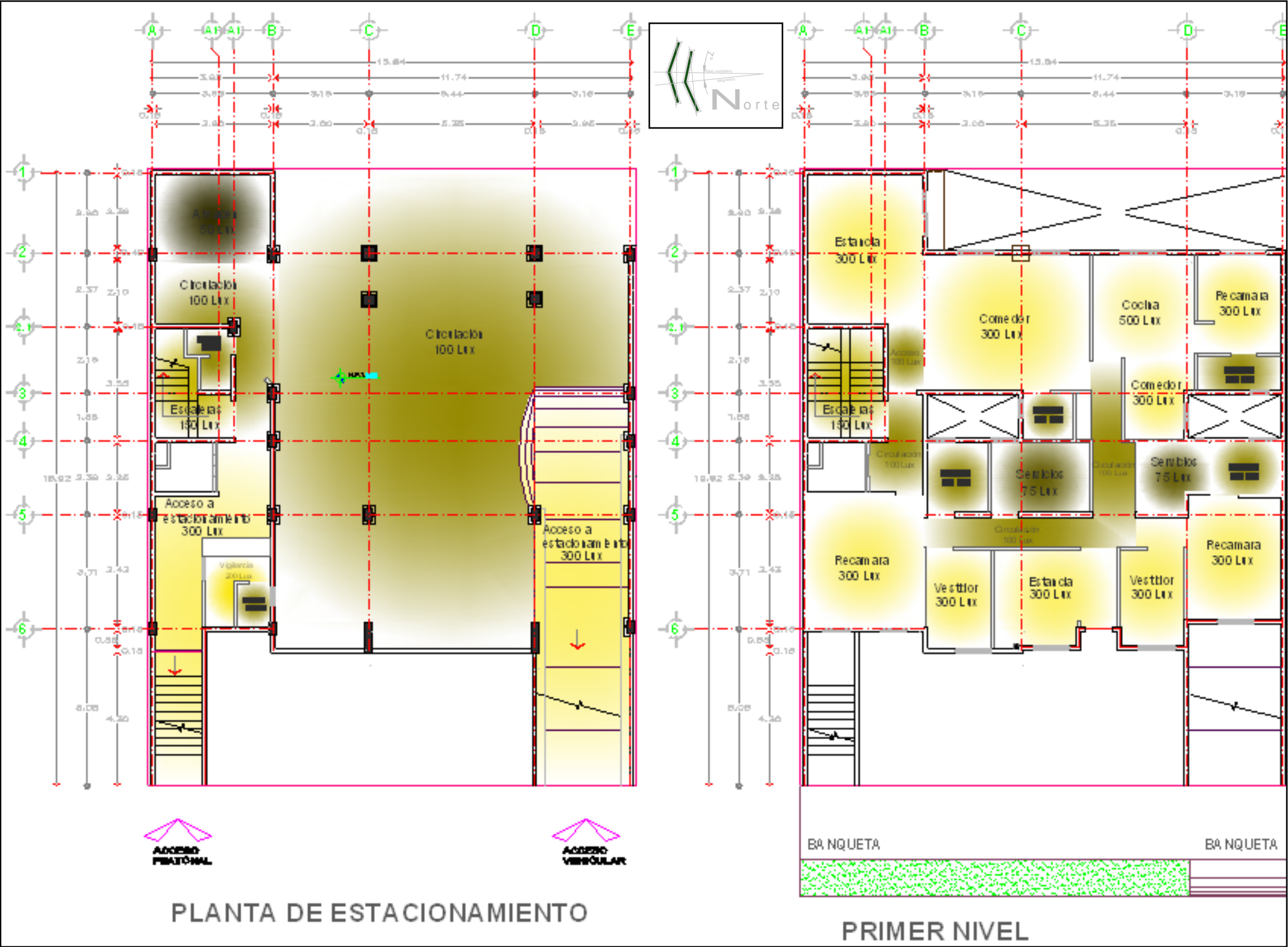


Figura 90: (Edificio habitacional) montea solar de la latitud de los cubos de iluminación.



5.3.3 Niveles de confort visual

Los niveles de confort visual se representaron en la planta con áreas amarillas donde va desde lo más oscuro para bodegas y almacenes con un requerimiento de 50 lux y para el estacionamiento se requiere un nivel de 100 lux, los accesos peatonales y vehiculares se dispone un nivel de 300 esto para la planta del sótano, (Figura 91).

Para el departamento tipo van los niveles de requerimiento desde los 50 lux hasta los 300 en espacios habitables (recámaras, estancia y comedor) (Figura 92).

Niveles de iluminación		
50 Lux		Bodega, Conserjería, Almacenes, etc.
75 Lux		Servicios, cuarto de lavado, etc.
100 Lux		Accesos, circulaciones, sanitarios luz general
150 Lux		Vestíbulo, Escaleras.
200 Lux		Recámara en general
250 Lux		Cabecera de la recámara
300 Lux		Estancia, comedor, recámara, acceso a estacionamiento
500 Lux		Cocina, Sala de lectura, maquillaje y afeitado
1000 Lux		Trabajos de alta precisión pintura, etc.

Figura 92: (Edificio habitacional) Tabla de niveles de confort visual.

Figura 91: (Edificio habitacional) Niveles de iluminación (sótano y primer nivel).

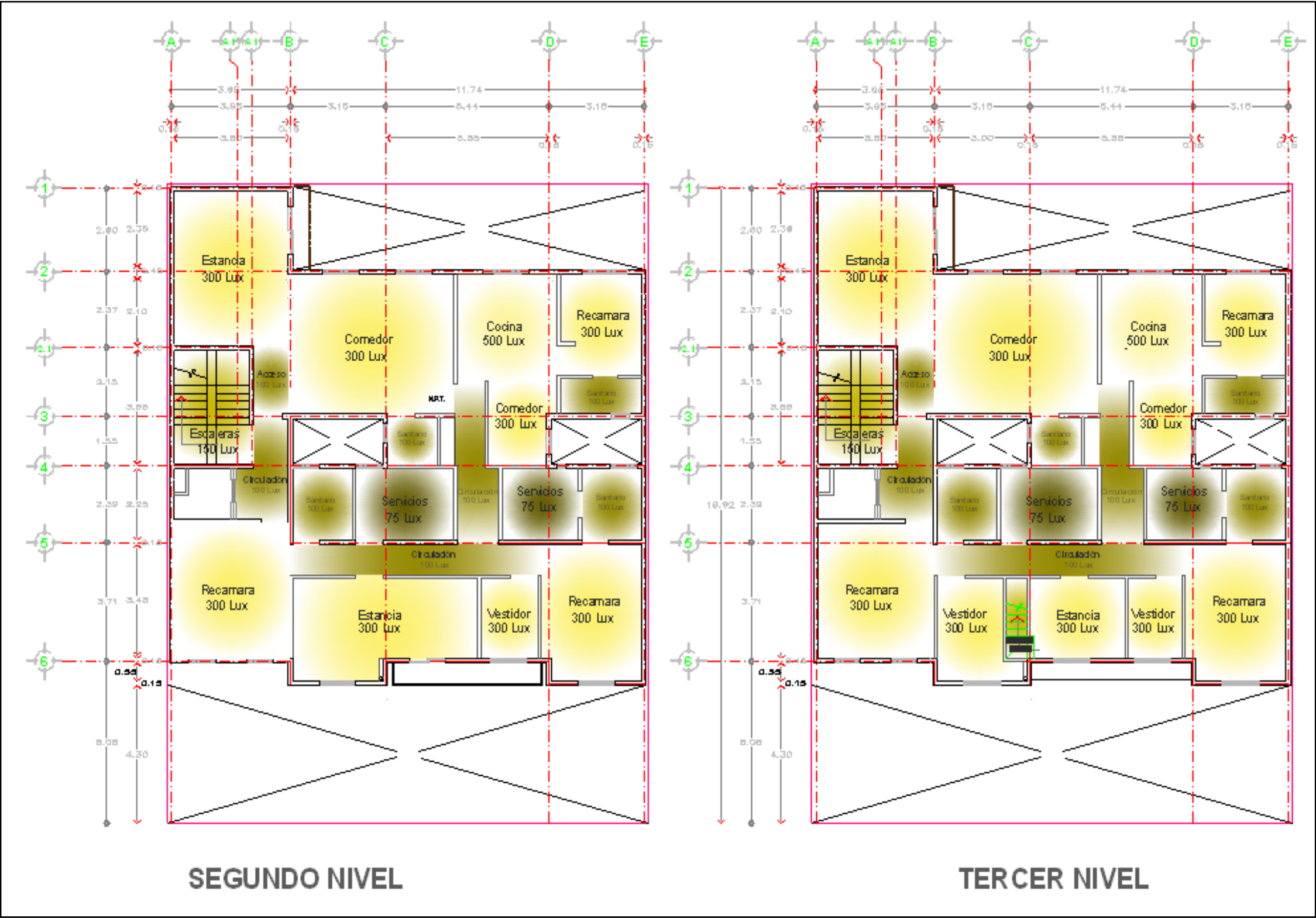


Figura 93: (Edificio habitacional) Niveles de confort en la planta tipo y tercer nivel.

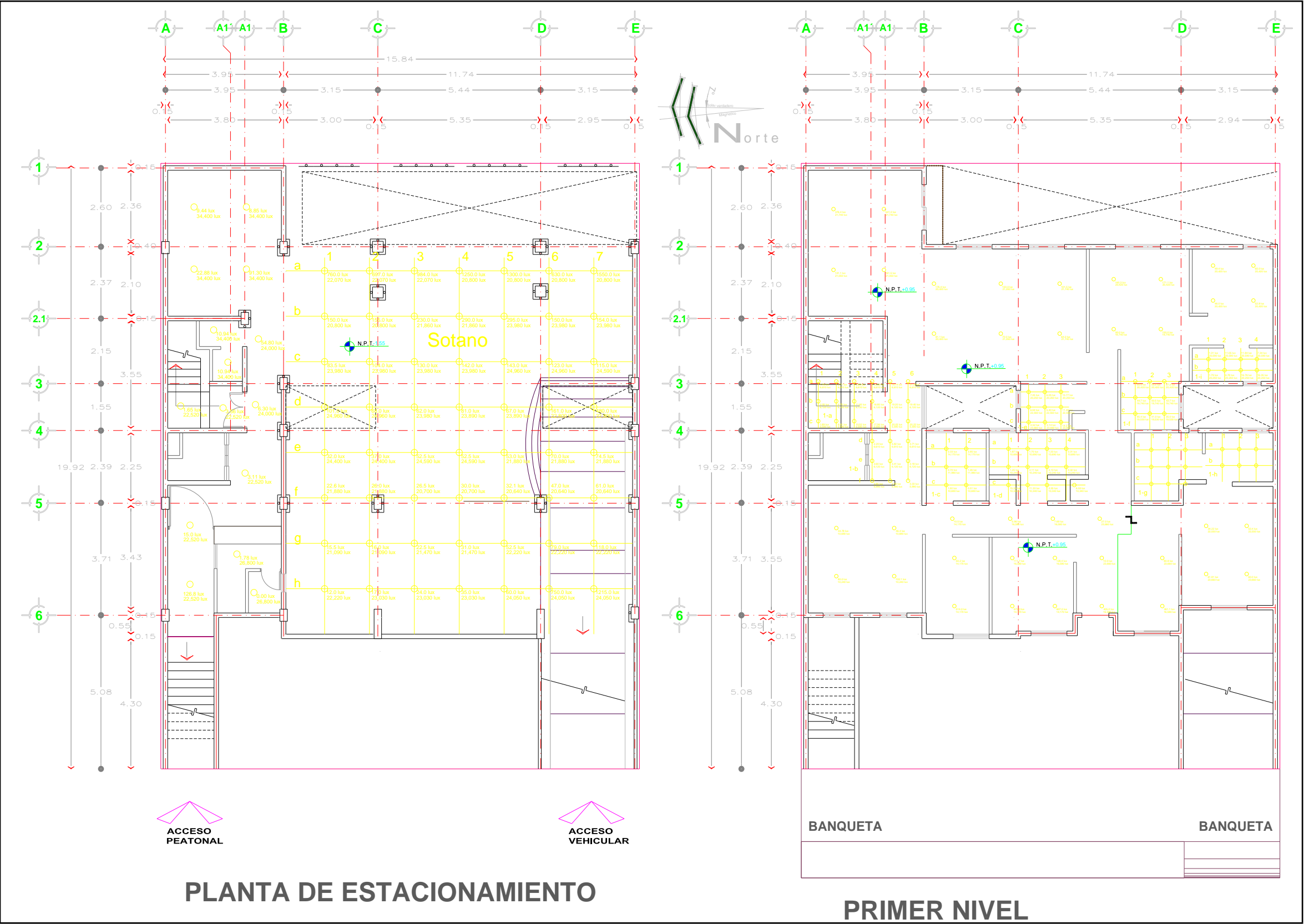
Niveles de confort visual

Para los niveles de los niveles de departamentos los cuales donde se requiere mayor nivel de iluminación en los espacios habitables orientados a las fachadas principal y posterior. Los espacios orientados a los cubos de iluminación van desde los 75 lux en los servicios y 300 en el desayunoador, (Figura 93).

Los cubos de iluminación tienen dimensiones de 3.00 x 1.40 por lo cual se ve interrumpido el paso de los rayos solares y los niveles de iluminación natural son bajos registrados en el edificio (Figura 94).

Niveles de iluminación		
50 Lux	Bodega, Conserjería, Almacenes, etc.	
75 Lux	Servicios, cuarto de lavado, etc.	
100 Lux	Accesos, circulaciones, sanitarios luz general	
150 Lux	Vestibulo, Escaleras.	
200 Lux	Recamara en general	
250 Lux	Cabecera de la recamara	
300 Lux	Estancia, comedor, recamara, acceso a estacionamiento	
500 Lux	Cocina, Sala de lectura, maquillaje y afeitado	
1000 Lux	Trabajos de alta presión pintura, etc.	

Figura 94: (Edificio habitacional) Tabla de niveles de confort visual.



5.3.4 Ubicación de los puntos de medición

La retícula que se dispone en el nivel del sótano es de 1.50 x 1.50 con 56 puntos los cuales se levantara el nivel de lux en el sótano y al mismo tiempo el nivel de lux a cielo abierto con un pantalla para sombrear la celda del foto-sensor del luxómetro.

Los puntos del nivel de los departamentos solo se pensaron en las habitaciones de servicio orientadas a los cubos de iluminación, con una retícula de 60 x 60 cm. Los espacios contemplados para el estudio son: baño de servicio, toilette, desayunador, baño completo, acceso al departamento, cuarto de lavado y vestíbulo de acceso (Figura 95).

En los espacios habitables orientados a las fachadas principal y posterior solo se verificó que se cumpla con el nivel mínimo requerido por lo que solo se dispusieron dos o cuatro puntos.

Figura 95: (Edificio habitacional) distribución de puntos de medición (planta de sótano y primer nivel).

Ubicación de los puntos de medición

En el segundo y tercer nivel se proyectó un departamento tipo similar al del primer nivel por lo que se determinó solo realizar el estudio de evaluación de niveles de iluminación en los espacios orientados a los cubos de iluminación por ser los más desfavorables en cuestión de confort lumínico. La retícula planteada es de 60 x 60 cm. por ser espacios pequeños y determinar una Gráfica más precisa con el modelo real, (Figura 96).

La distribución se basa en locales de servicio como escaleras, acceso, vestíbulo del elevador, toilette, baño cuarto de lavado, desayunador, baño de servicio, vestidor y baño principal.

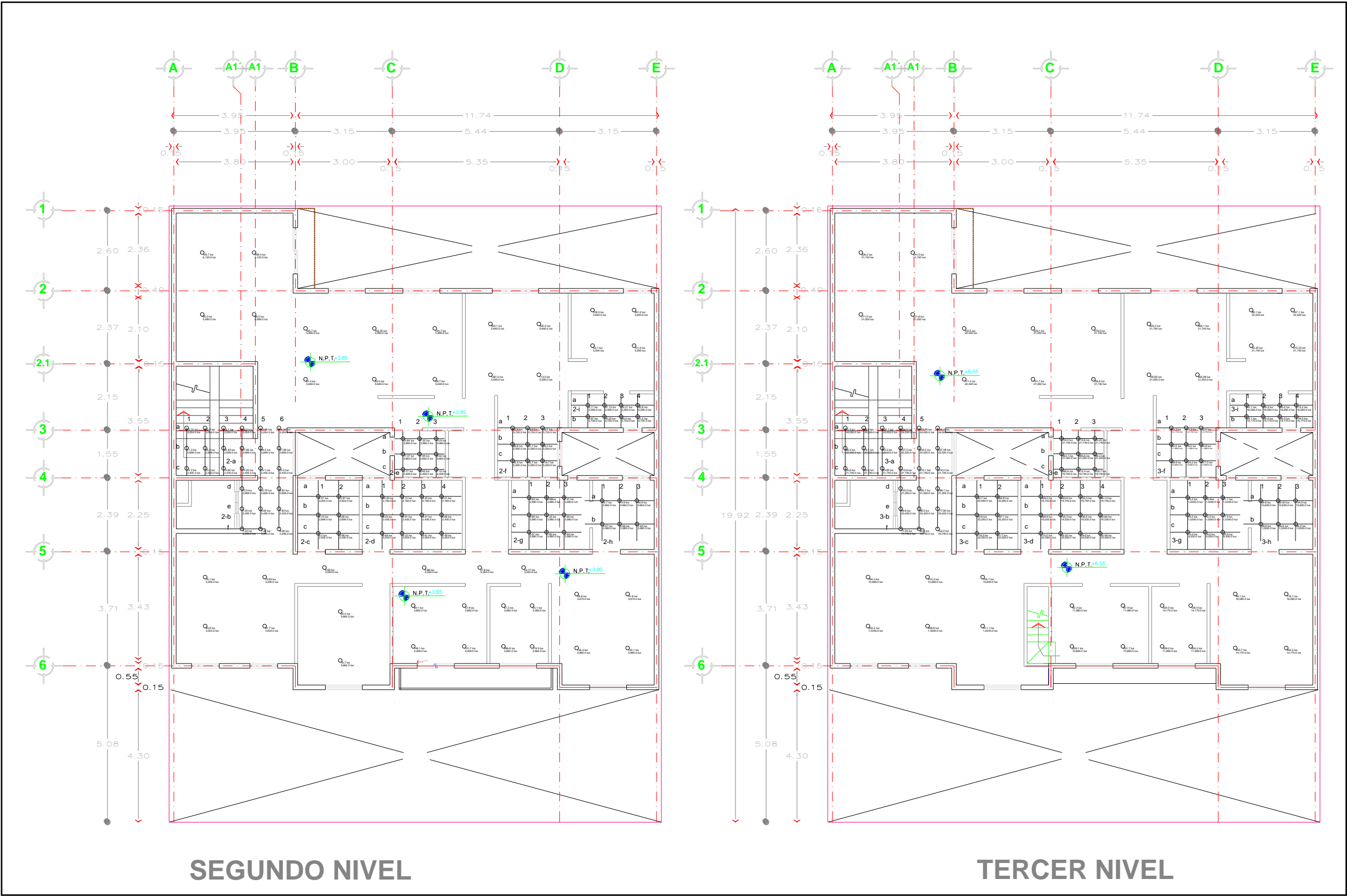


Figura 96: (Edificio habitacional) distribución de puntos de medición (segundo y tercer nivel).

Ubicación de los puntos de medición

La planta del cuarto nivel está destinada al medio departamento del tercer nivel en este nivel se aloja la recamara principal orientada a una terraza y al cubo de iluminación, su vestidor con iluminación hacia el cubo de luz, vestíbulo del nivel y vestíbulo de salida a la azotea, ambos con orientación al cubo de iluminación (Figura 97).

En la planta de azotea se va a registrar los niveles de iluminación exterior cada 2 minutos para graficar el comportamiento de la iluminación natural (directa del sol) con esta lectura se comprara en porcentaje con la iluminación interior para obtener el factor día del interior.

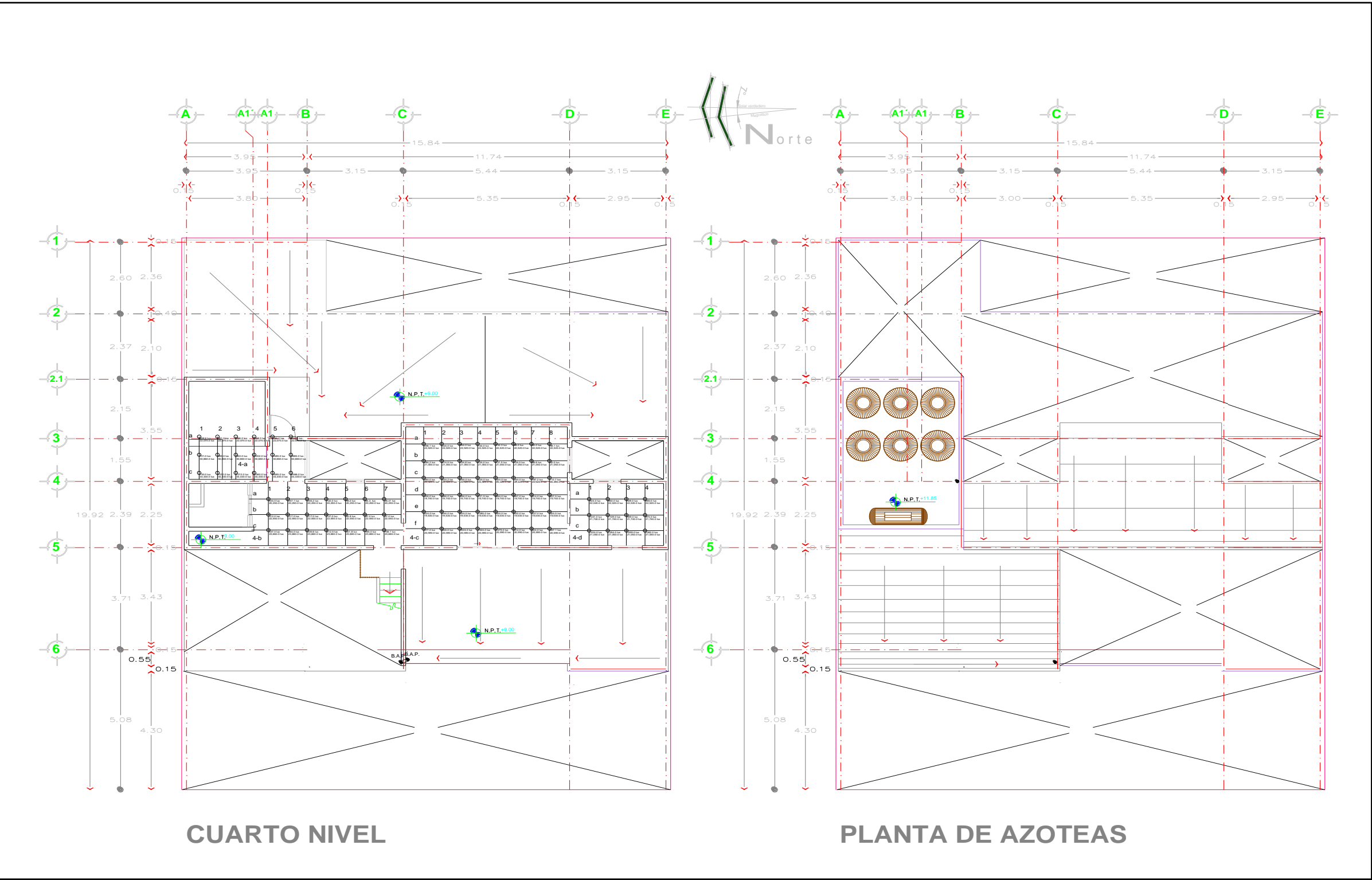
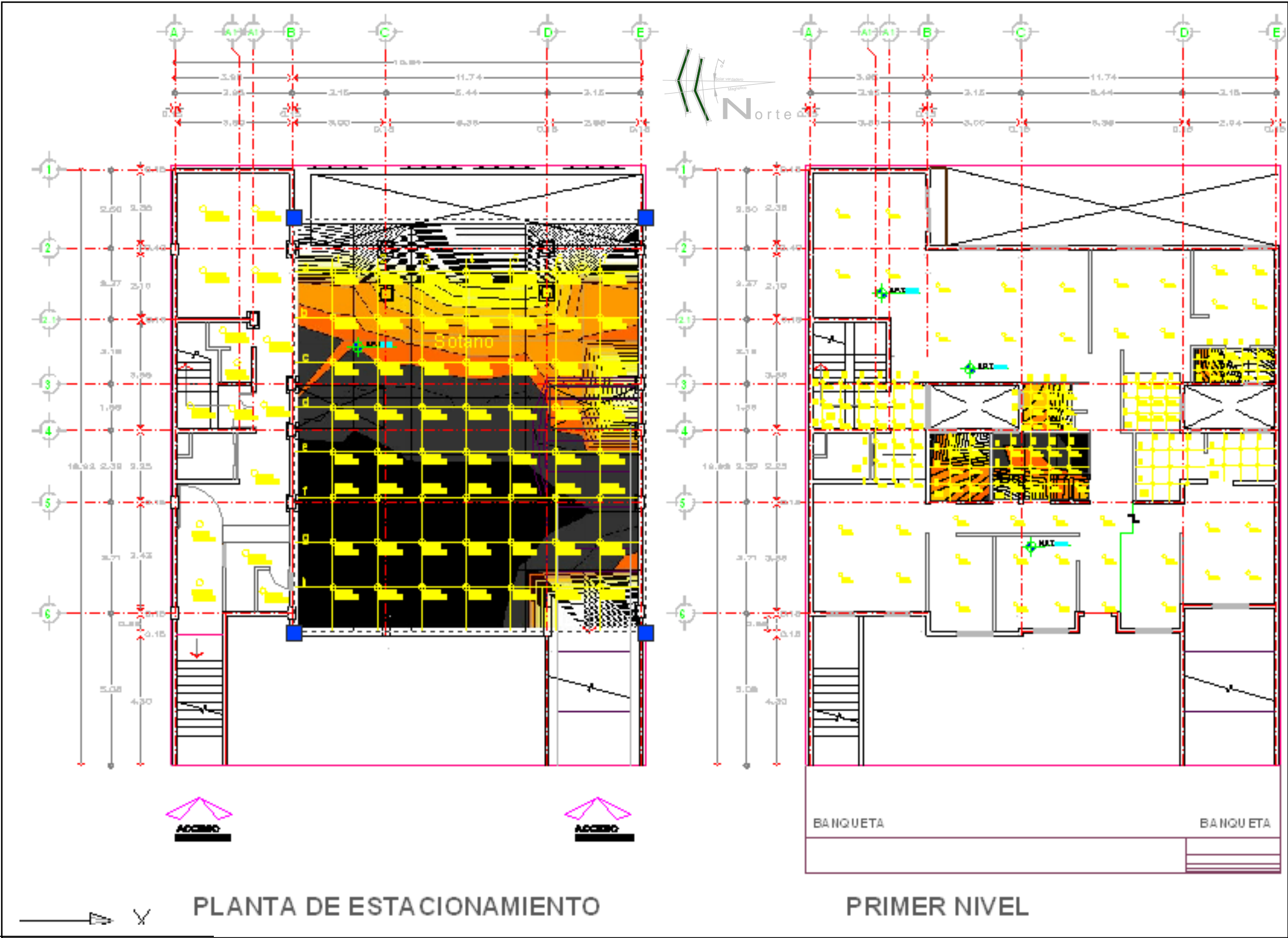


Figura 97: (Edificio habitacional) distribución de puntos de medición (cuarto nivel y azotea).



5.3.5 Niveles de iluminación actuales

En las plantas arquitectónicas donde se plante el trazo de los puntos de medición se sobre puso la Gráfica de isolux con áreas oscuras para marcar las que no cubren con los niveles mínimos de confort lumínico o visual para los usuarios del estacionamiento del sótano (Figura 98).

En los niveles de los departamentos se marcaron los puntos con las dos medidas en el sitio y al exterior para determinar el factor día¹¹ de cada punto. En las gráficas de isolux se marca con áreas blancas para marcar las zonas que se cumple con los requerimientos.

¹¹ Porcentaje de la cantidad de luz del exterior contra la cantidad de luz que se registra en el interior.

Figura 98: (Edificio habitacional) distribución de puntos de medición (Gráfica de Isolux en planta).

Niveles de iluminación actuales

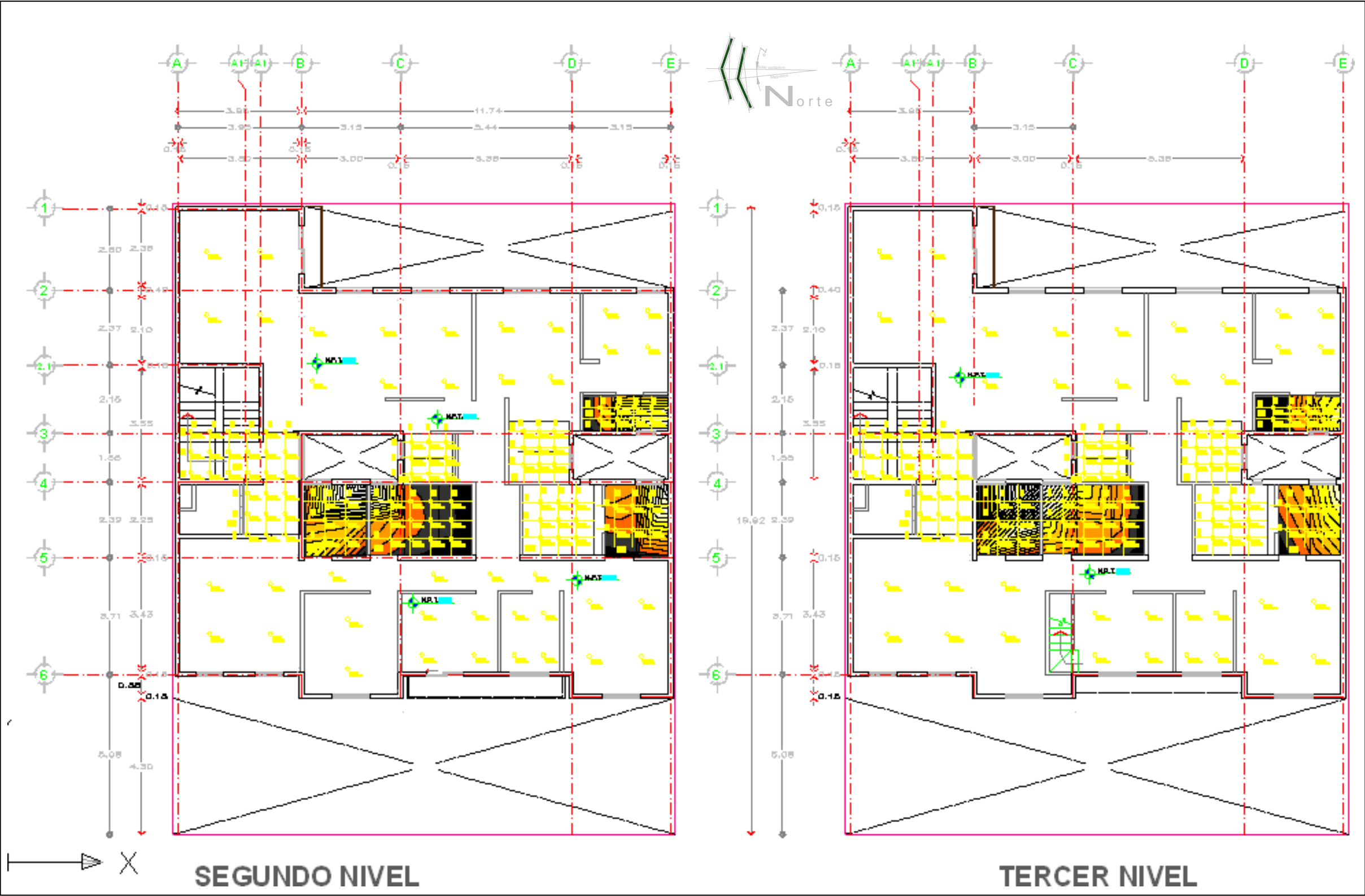
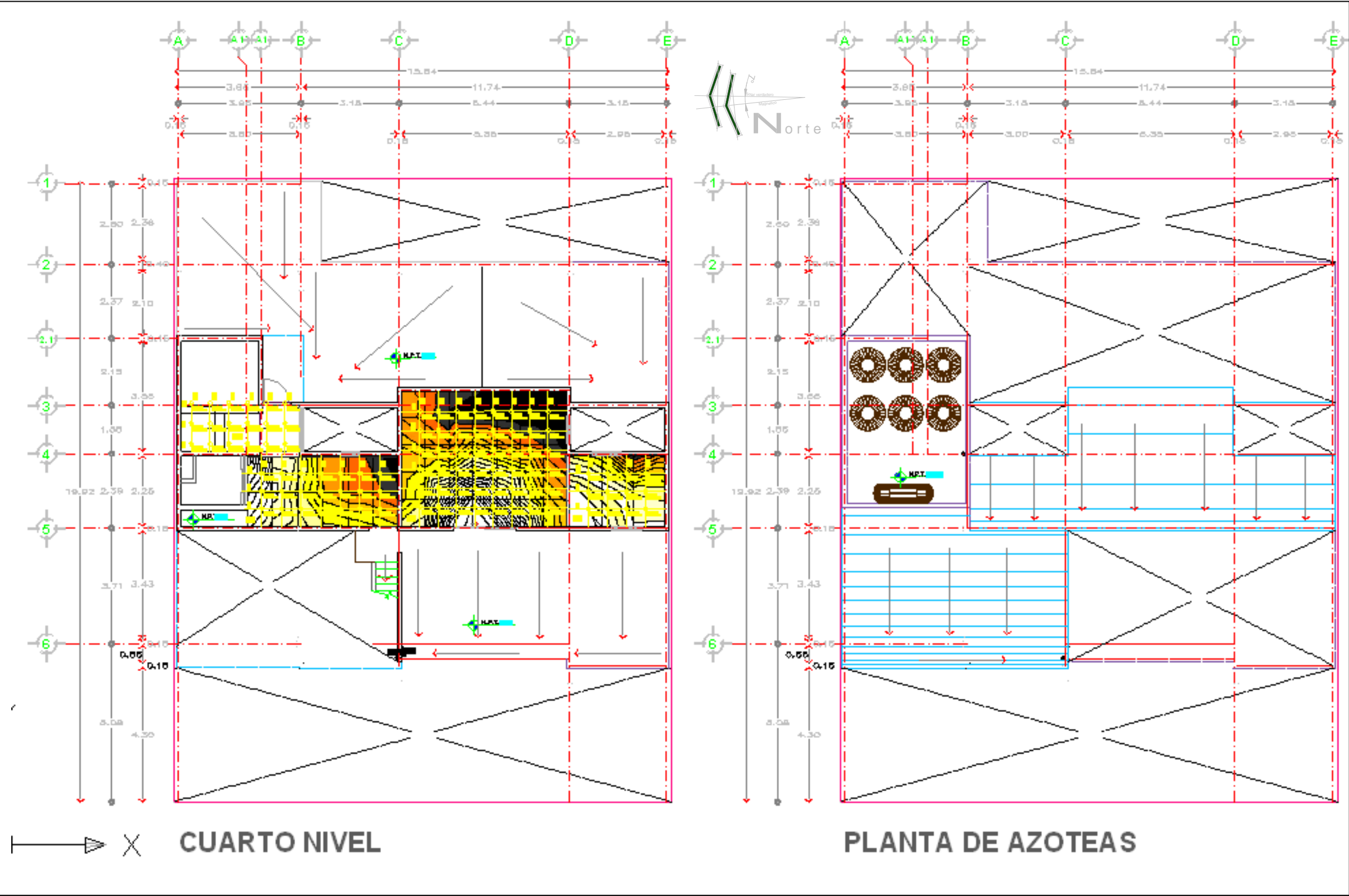


Figura 99: (Edificio habitacional) distribución de puntos de medición (Gráfica de Isolux en planta) en segundo y tercer nivel.

En el segundo y tercer niveles se encuentran los departamentos tipo y las características de la iluminación registrada en estos niveles se marca una carencia del recurso lumínico por el pequeño vano de ventana de los espacios (Figura 99).

En el segundo nivel se aprecia claramente una zona de penumbra y solo una pequeña área del nivel de confort mínimo requerido para este tipo de locales sin embargo en el tercer nivel en el mismo local se nota una mejoría en los niveles registrados en la Gráfica de isolux presentando un área de penumbra menor al 20% del espacio.

Para los locales orientados a las fachadas (principal “calle Moliere” y posterior “patio trasero”) se tomó la lectura en cuatro puntos en espacios pequeños o seis en locales más amplios con la finalidad de comprobar que cumplen con los requerimientos de confort lumínico.



Niveles de iluminación actuales

El cuarto nivel se destina al departamento del nivel inferior y en este se ubica la recamara principal con su vestidor y baño. Estos espacios (Figura 100) se encuentran bien iluminados por ser el último nivel y no presentan obstáculos en los cubos de iluminación y en sus vanos, solo en la recamara se encuentra una zona de penumbra en la esquina superior derecha la cual se deriva de la falta de acabados en la construcción lo cual explica la carencia del recurso lumínico, pero con los acabados en piso y pintura en muros y plafones se restara esta zona de penumbra.

En la planta de azotea no se requirió tomar lecturas solo las del exterior para calcular el factor día (porcentaje de la luz exterior con la interior). Pero la importancia de este nivel será alojar los dispositivos en los pretiles de los cubos de iluminación.

Figura 100: (Edificio habitacional) distribución de puntos de medición (Gráfica de Isolux en planta) en cuarto nivel y planta de azoteas.

6.- Pruebas de laboratorio

Desarrollo Experimental

Un fotómetro es un instrumento (Figura 101), usado para medir la intensidad de la luz. Los que se utilizan para la fotometría, son instrumentos para detectar:

- Intensidad de luz dispersa
- Absorbancia
- Fluorescencia

Los dos más importantes en la astronomía son el fotómetro fotoeléctrico y el fotómetro CCD: el primero de ellos, aunque se utiliza todavía, está en desuso ya que el chip CCD presenta numerosas ventajas frente al anterior (linealidad, precios más reducidos, mayor fiabilidad, amplia respuesta al espectro electromagnético, mayor precisión, etc.).

El equipo que se empleó fue un luxómetro con el cual se midieron los niveles de lux ubicados en la retícula en el modelo a escala para posteriormente comparar con las medidas registradas en el edificio real.

Las lecturas registradas se graficaron en ambos caso modelo real y modelo a escala para comparar que el modelo a escala se comporta como el modelo real para posteriormente instalar el dispositivo y verificar si hay incrementos en el nivel de confort visual (Figuras de la 102 a la 104).



Figura 104



Figura 101



Figura 102



Figura 103

Figura 101: Luxómetro en el modelo a escala del edificio escolar.
(mediciones en el patio)

Figura 102: Luxómetro en el modelo a escala del edificio escolar.
(mediciones en las aulas)

Figura 103: Luxómetro en la azotea del edificio escolar.

Figura 104: Fotómetro.

6.1 Edificio Escolar (Secundaria No.7)

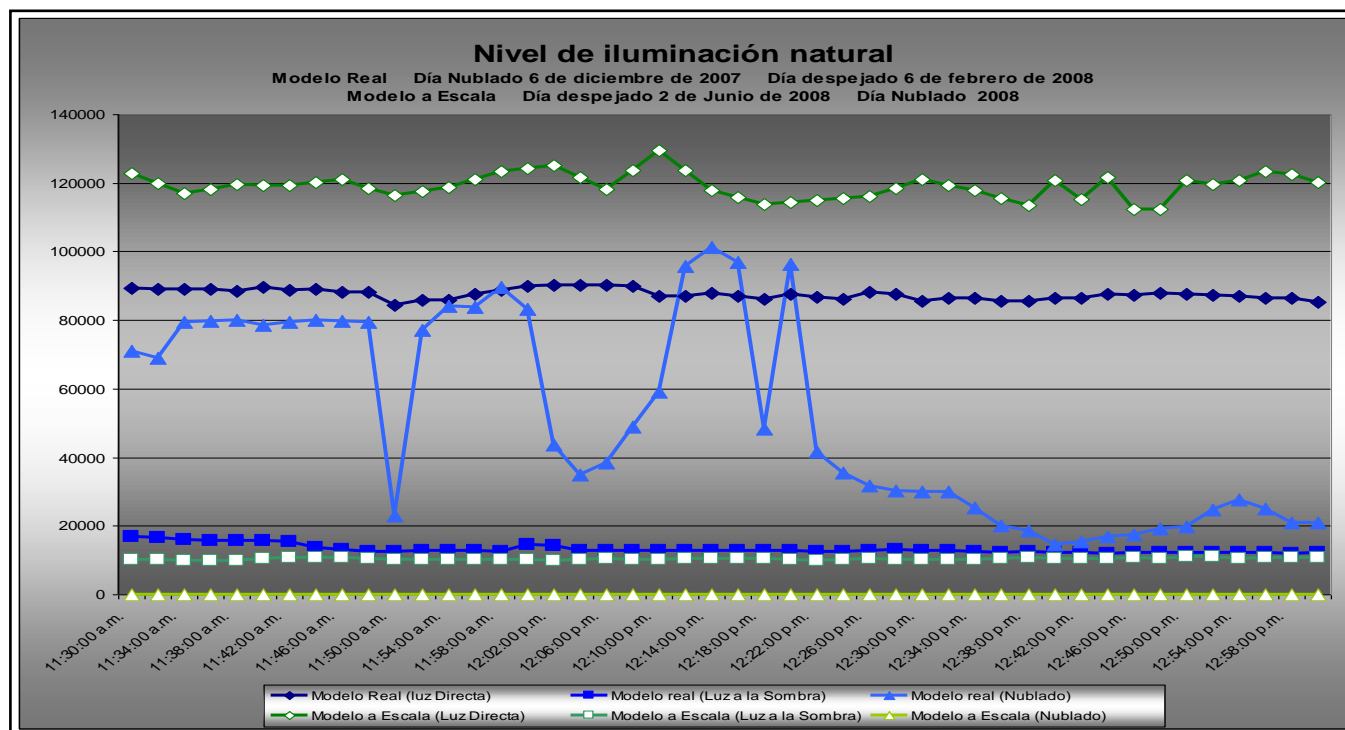


Figura 105: (Edificio escolar) comportamiento de la Iluminación natural en el modelo real.

Para realizar una comparación más exacta se registraron las lecturas de los niveles de lux en el exterior o mejor dicho a luz directa y a la sombra. Estas mediciones se tomaron cada dos minutos para Gráficar el comportamiento en diferentes condiciones el día nublado y con el sol en menor ángulo de altura fue el 6 de diciembre de 2007 y el día despejado fue el 6 de febrero de 2008 en el modelo real. Para las pruebas en el modelo a escala se registró el día 2 de junio de 2008 como despejado y el 17 de mayo de 2008 como nublado (Figura 105).

Estas mediciones al exterior se utilizaron para comparar el modelo real con el modelo a escala con el factor de día. Dicha comparación nos garantizó que el modelo a escala se comporta similar al real para una vez instalado el dispositivo las mediciones que se registren sean lo más aproximados a la realidad. La mismas cantidades de iluminación en lux presentadas en el modelo real se registraron en el modelo a escala pero la comprobación definitiva se realizó con la proporción de la cantidad de luz del exterior con la del interior en ambos casos (real y a escala) siendo esto la importancia de calcular en factor día en cada punto de medición de la retícula y graficar ambas condiciones factor de día y lux, registrados en sitio y en maqueta.

6.1.1 Pruebas al Aire libre

Tabla de niveles de LUX en Patio de la planta baja (Día Despejado Edificio Real, 6 de febrero de 2008)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
a	205.30	193.10	133.70	134.50	57.60	43.50	51.20	53.90	60.50
b	278.40	203.70	142.70	117.40	80.50	91.40	108.60	137.30	125.30
c	221.70	166.40	160.40	185.40	103.40	145.80	99.70	183.60	202.10
d	193.60	196.40	117.60	180.80	113.10	158.80	119.90	217.60	157.70
e	197.60	128.10	95.40	89.10	76.30	92.30	93.30	136.60	132.10
f	98.10	116.70	132.60	145.70	116.60	142.30	136.60	124.90	83.30
g	97.10	84.40	1041.00	788.00	2199.00	1799.00	1408.00	159.10	145.30
h	162.10	211.10	1735.00	2162.00	2278.00	2026.00	836.00	389.10	193.30
i	133.10	179.10	544.00	2151.00	2280.00	2108.00	1494.00	258.10	131.60
j	176.10	204.30	1540.00	2034.00	2170.00	1975.00	1486.00	330.10	133.10
k	139.70	182.10	1390.00	572.00	1957.00	1542.00	1596.00	240.90	208.10
l	379.00	348.00	476.00	547.00	642.00	623.00	561.00	399.10	312.60
m	331.10	217.10	241.90	312.60	281.10	385.10	522.70	392.30	307.10
n	528.00	660.00	778.00	946.00	750.00	1007.00	976.00	999.00	501.00
ñ	953.00	946.00	1132.00	1378.00	1375.00	1494.00	1499.00	1611.00	1378.00
o	1896.00	1994.00	2369.00	2123.00	2219.00	2660.00	2949.00	3148.00	2894.00

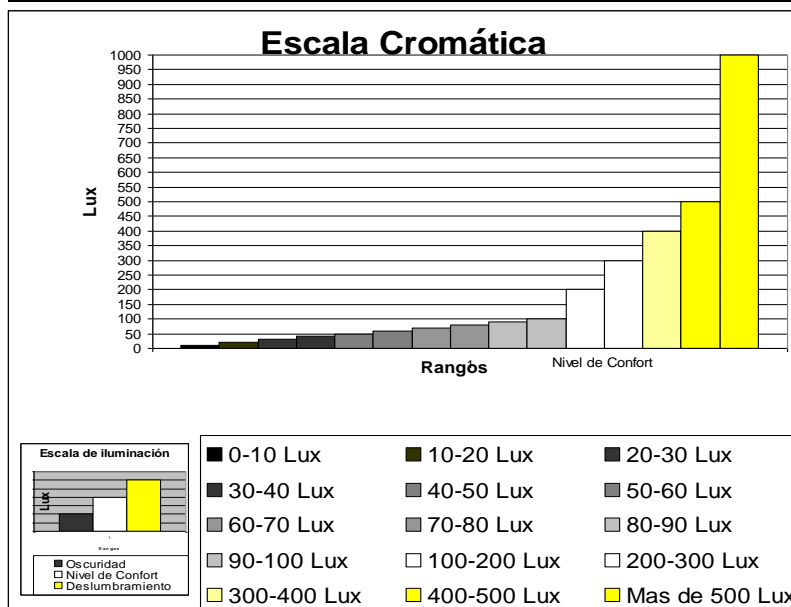
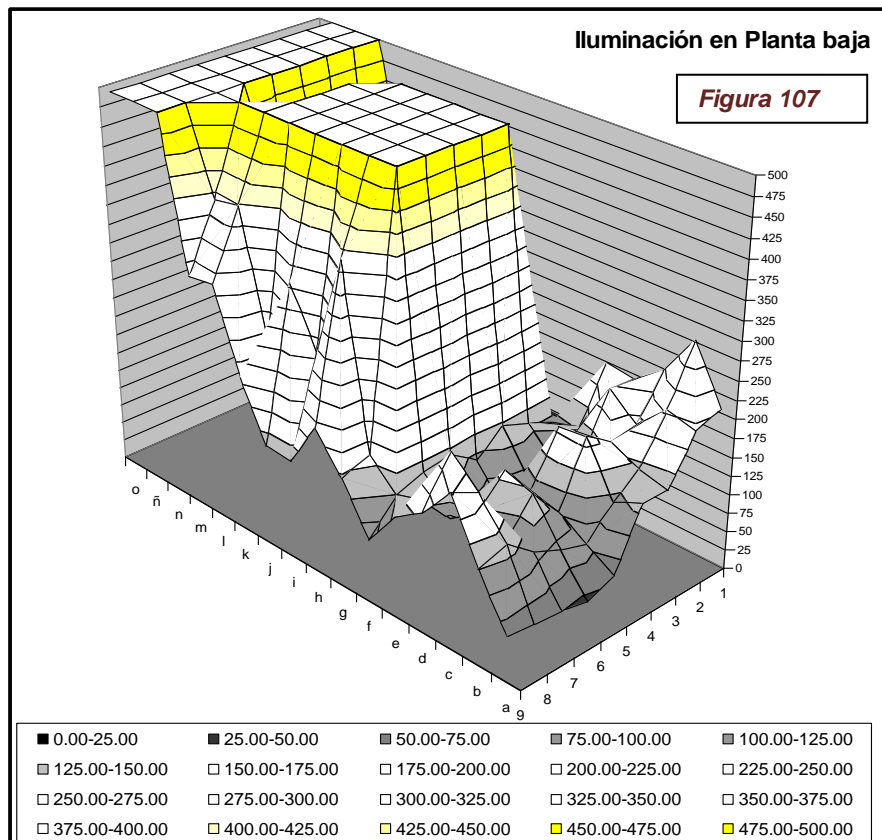


Tabla 7: Tabla de niveles de LUX en Patio de la planta baja (modelo real).

Escala Cromática

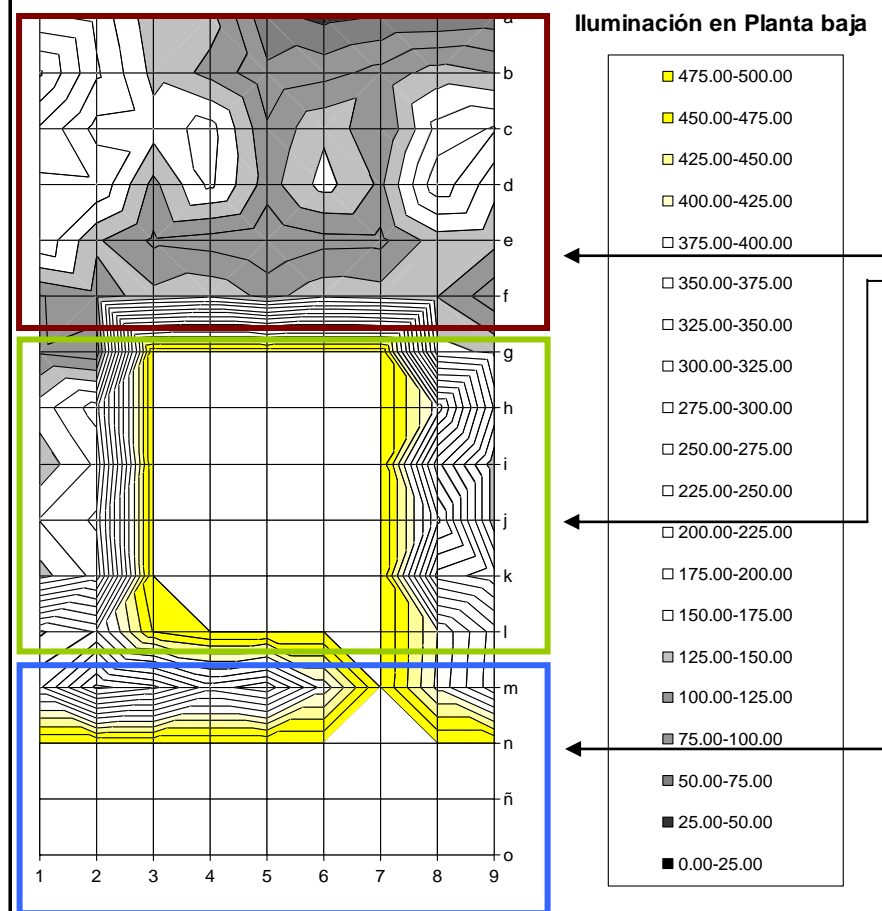
Los datos de las Tablas (Tabla 7) son la retícula planteada en los planos de las plantas arquitectónicas. Estas Tablas se marcaron con algunos colores para visualizar la escala cromática (Figura 106) que se va emplear para las Gráficas de de los niveles de lux registrados en el modelo real y en el modelo a escala.

Figura 106: Escala cromática.



En la gráfica tridimensional (Figura 107) se marca con áreas negras los niveles de 0 a 25 lux; en color gris, los niveles por debajo del mínimo requerido, y en color blanco, la franja de confort visual y en tonos amarillos cuando sobrepasa el nivel requerido.

Esta gráfica en particular es de la planta baja del edificio escolar donde se muestra claramente cuál es el patio central y la fuente luminosa de este nivel y se observa que la parte del acceso al edificio es la que presenta niveles bajos de iluminación



Zona de penumbra
Patio Central
Ganancias Lumínicas

La representación de los niveles de iluminación se aprecian en planta por zonas (Figura 108) la parte central corresponde al patio principal, la parte superior al acceso y la zona de mayor penumbra y la parte inferior con ganancias lumínicas por el patio posterior.

Figura 108

Factor de Día en Patio de la planta baja (Día Despejado Edificio Real, 6 de febrero de 2008)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
a	1.21	1.14	0.79	0.79	0.34	0.26	0.30	0.32	0.36
b	1.68	1.23	0.86	0.71	0.48	0.55	0.65	0.83	0.75
c	1.38	1.03	1.00	1.15	0.66	0.93	0.64	1.17	1.29
d	1.24	1.26	0.75	1.16	0.73	1.02	0.77	1.39	1.01
e	1.27	0.82	0.61	0.57	0.49	0.59	0.60	0.88	0.85
f	0.63	0.76	0.87	0.95	0.76	0.93	0.89	0.82	0.61
g	0.71	0.62	7.60	5.75	16.05	13.13	10.28	1.16	1.06
h	1.25	1.62	13.35	16.63	17.52	15.58	6.43	2.99	1.49
i	1.02	1.42	4.32	17.07	18.10	16.73	11.86	2.05	1.04
j	1.40	1.62	12.42	16.40	17.50	15.93	11.98	2.66	1.07
k	1.10	1.43	10.94	4.50	15.41	12.14	12.57	1.90	1.64
l	2.98	2.74	3.75	4.31	5.06	4.91	4.42	3.14	2.46
m	2.61	1.71	1.90	2.46	2.21	3.03	4.15	3.11	2.44
n	4.19	5.24	5.37	6.52	5.17	6.94	6.73	6.89	3.53
ñ	6.71	6.66	7.97	9.70	9.68	11.76	11.80	12.69	10.85
o	14.93	15.70	18.65	16.72	17.47	20.94	23.22	24.79	22.79

Tabla 8: Factor de día (PB)

Factor de Día

Se cálculo el factor de Día el cual se entiende por él como el porcentaje de iluminación registrada en el interior de las habitaciones con respecto a la iluminación exterior, para el cálculo del factor día se registra como iluminación exterior el nivel de lux a la sombra, (Tabla 8) de la planta baja, para determinar cuál es el porcentaje de iluminación que incide en el interior con respecto a la del exterior. Se registraron mediciones del exterior a cada 2 minutos y en la retícula para el registro se registró la hora de la medición para obtener el factor día de cada registro de la medición, (Figura 109).

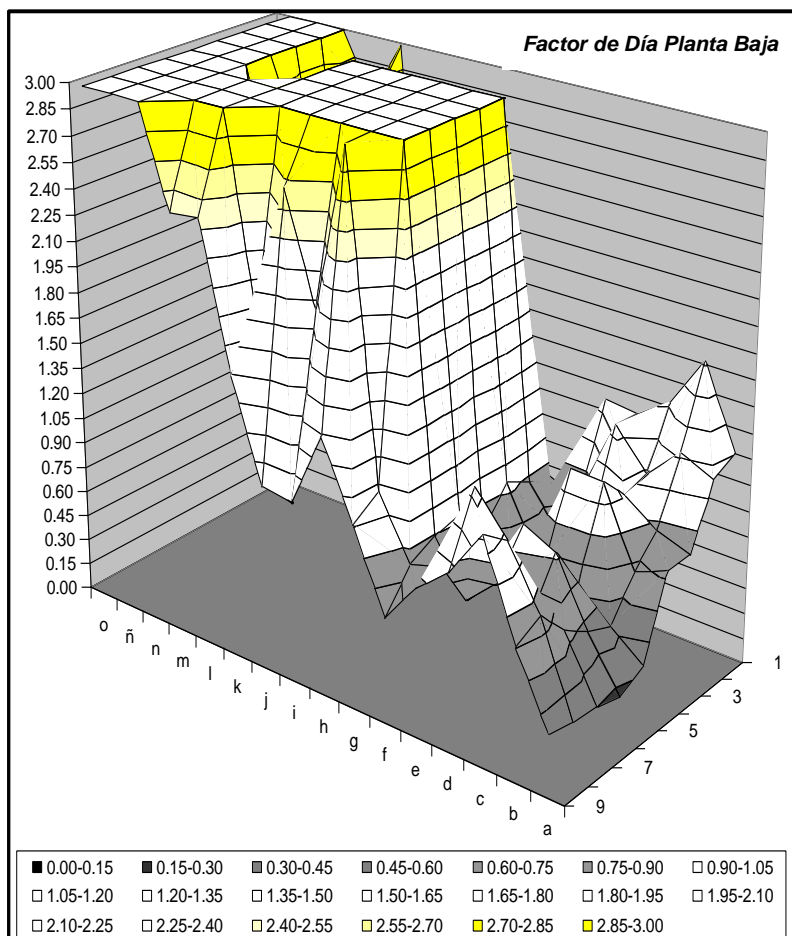


Figura 109: Factor de Día (patio de la Planta Baja del edificio escolar)

Tabla de niveles de LUX en Patio de la planta baja (Día Nublado Edificio Real, 6 de diciembre de 2007)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
a	170.10	178.90	122.50	42.90	39.40	38.40	61.50	51.10	47.90
b	171.20	234.50	269.50	69.20	49.00	44.00	70.70	102.50	93.80
c	156.90	258.30	148.10	192.60	88.40	117.00	163.30	184.90	111.90
d	136.10	215.40	101.30	228.10	124.10	172.20	136.30	131.50	49.70
e	82.70	176.60	98.60	105.30	76.50	86.50	94.70	124.80	82.30
f	84.80	92.90	79.30	76.30	66.10	69.30	87.00	65.50	55.20
g	103.80	133.90	2380.00	2974.00	2941.00	233.00	275.90	195.30	127.30
h	170.10	212.70	2185.00	2108.00	2113.00	2410.00	1548.00	254.90	167.00
i	150.90	157.40	1842.00	1800.00	1400.00	1994.00	290.00	225.00	131.10
j	75.90	105.00	1090.00	1232.00	1436.00	1792.00	180.20	249.60	152.60
k	97.40	122.80	1381.00	1580.00	1802.00	1664.00	1665.00	201.80	165.90
l	108.20	194.40	150.90	193.60	201.10	233.50	214.80	194.50	185.80
m	147.50	203.60	213.50	269.90	176.60	220.90	170.30	250.10	199.30
n	475.00	521.00	298.70	611.00	309.00	587.00	506.00	582.00	445.50
ñ	608.00	741.00	1030.00	1184.00	1212.00	1424.00	1408.00	1582.00	1116.00
o	1013.00	1213.00	1664.00	2069.00	2093.00	2288.00	2572.00	2681.00	2051.00

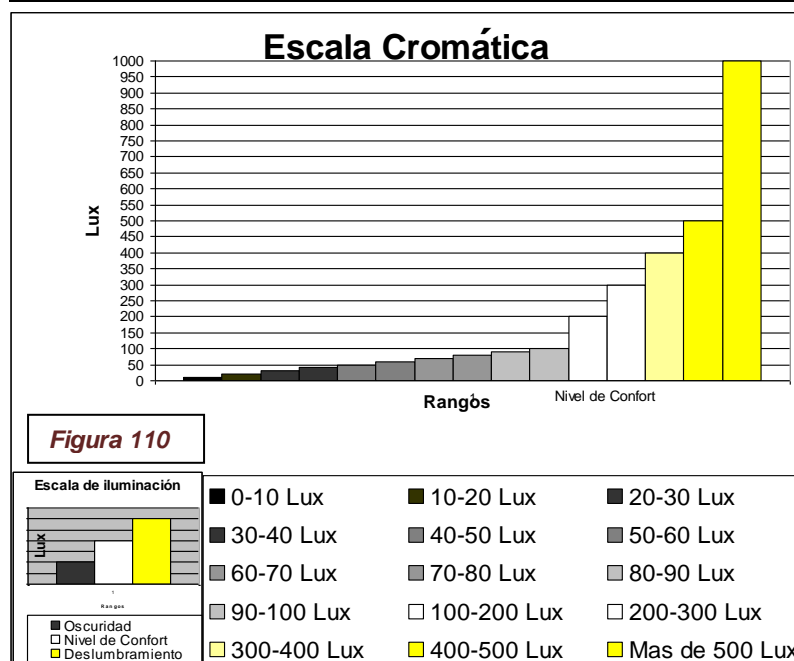


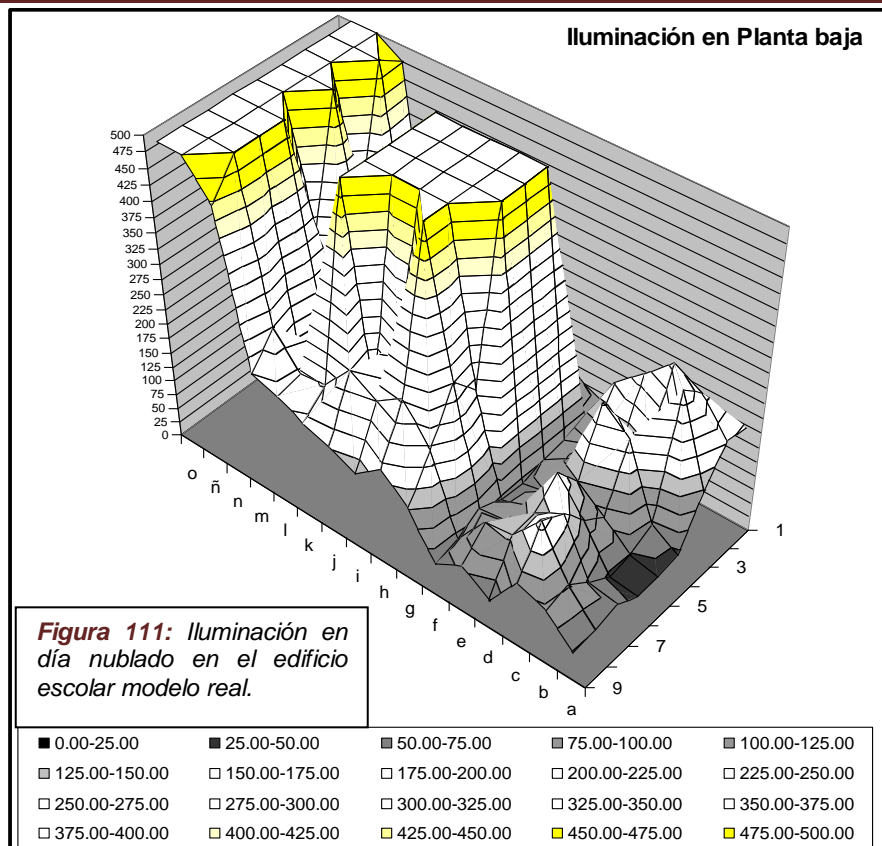
Figura 110: Escala cromática.

variando dependiendo del requerimiento del área por lo que no será lo mismo el nivel para el patio de la planta baja como para las aulas o talleres. Para cada área del edificio escolar se planteó una escala cromática con el mismo principio de los colores grises para saber que el nivel está por debajo de lo requerido y lo amarillo está sobre éste y la franja blanca en rango de confort (Figura 110).

Tabla 9: Tabla de Lux día nublado (real).

Se registraron las mediciones de la misma área (planta baja) en diferentes condiciones (día nublado) (Tabla 9), para analizar el comportamiento del modelo real con lo cual simular las diferentes variables en el modelo a escala.

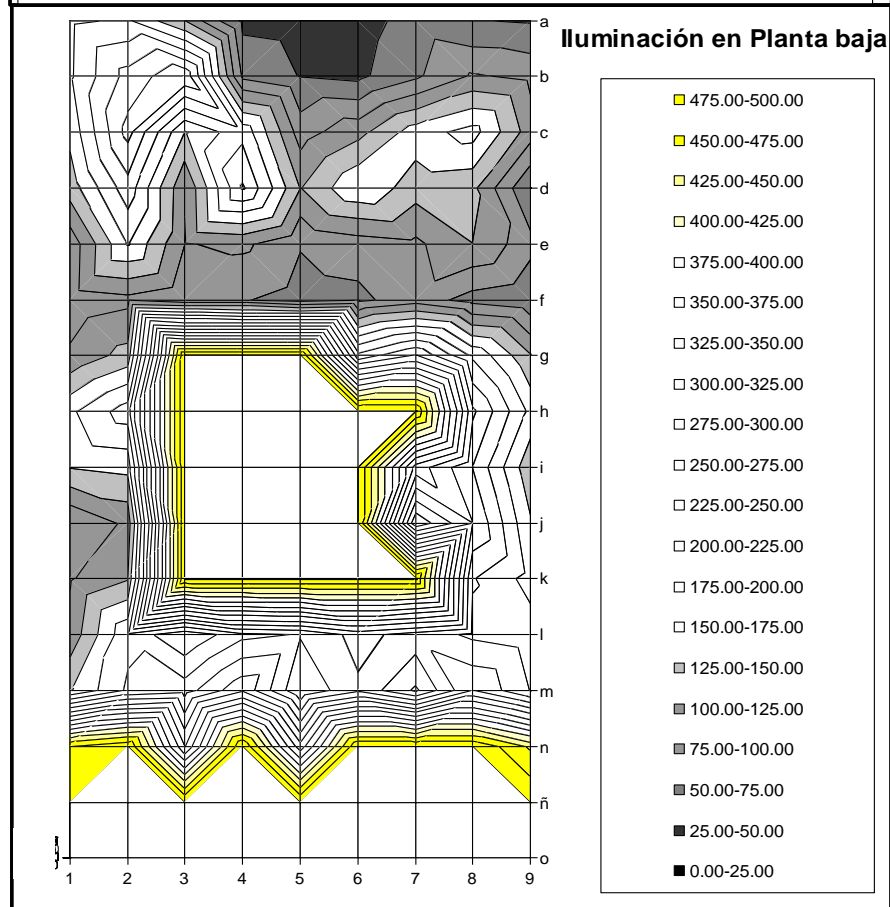
La escala utilizada será fija para ambas condiciones y se utilizará en las gráficas de isolux, por lo tanto al ver franjas en color blanco sabremos que se encuentra en el rango de confort visual. Nota las escalas va



En la Gráfica en tres dimensiones (Figura 111) se aprecia la zona de confort lumínico con una red de color blanco y en tonos grises hasta el negro se muestra la zona de discomfort y las áreas de color amarillo marcan áreas de deslumbramiento.

La condición de cielo nublado marca una zona de penumbra similar a la condición anterior solo el área de acceso y en el centro del patio se determina como área de deslumbramiento por la penetración de los rayos solares directos.

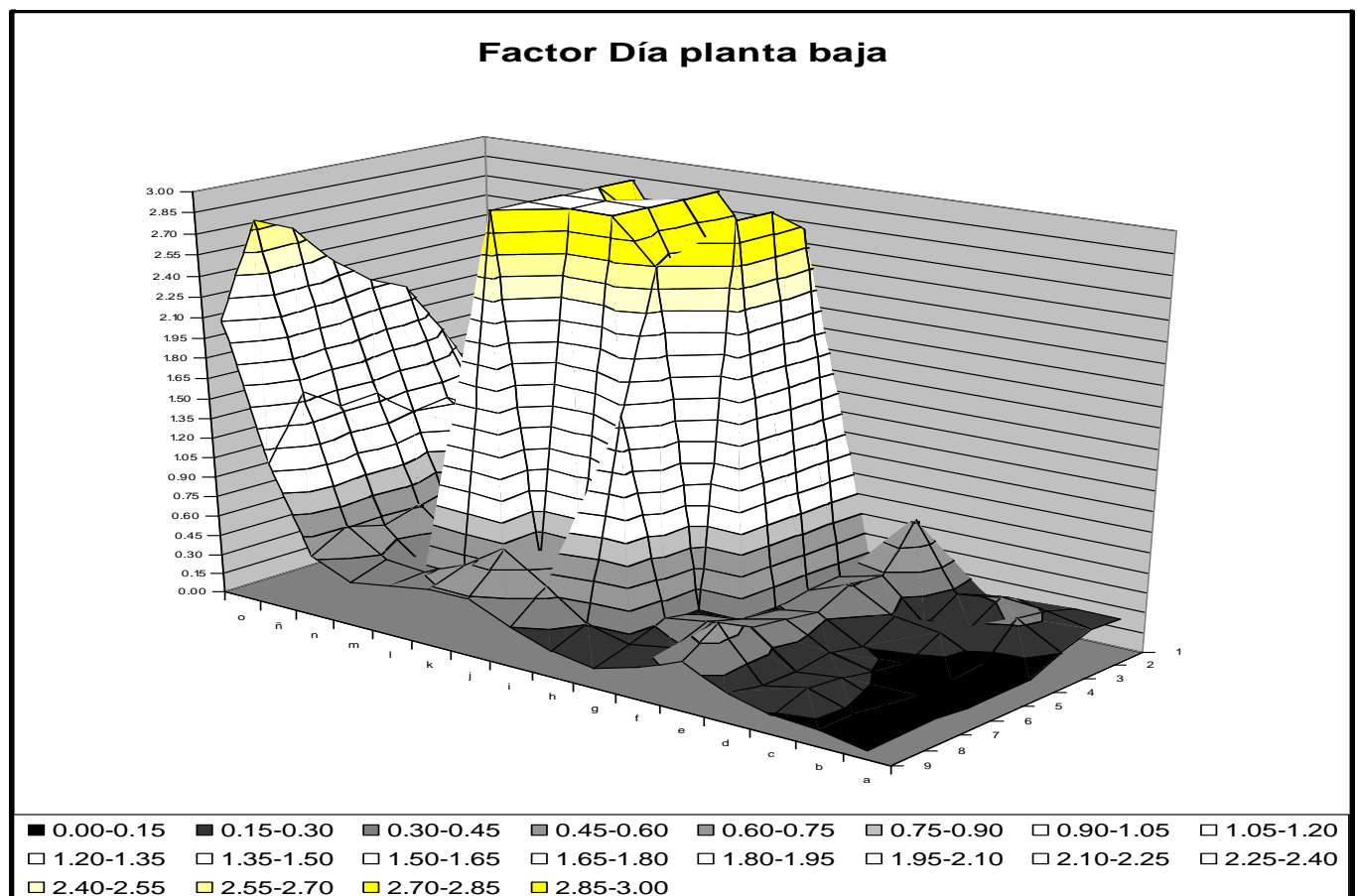
Presentando estas dos condiciones (nublado y despejado un factor determinante en el estudio el cual se comparara con el modelo a escala obteniendo resultados más certeros y veraces, los cuales se graficaron y calcularon el factor día en esta condición (Tabla 12 y Figura 112).



Factor de Día en Patio de la planta baja (Día Nublado Edificio Real, 6 de diciembre de 2007)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
a	0.22	0.23	0.15	0.05	0.05	0.05	0.08	0.06	0.06
b	0.21	0.29	0.34	0.09	0.06	0.06	0.09	0.13	0.12
c	0.20	0.32	0.19	0.24	0.11	0.15	0.21	0.23	0.14
d	0.17	0.27	0.13	0.29	0.16	0.22	0.17	0.17	0.22
e	0.36	0.77	0.43	0.46	0.33	0.38	0.41	0.54	0.36
f	0.37	0.41	0.35	0.33	0.29	0.30	0.38	0.29	0.24
g	0.13	0.17	2.83	3.53	3.49	0.28	0.33	0.23	0.15
h	0.20	0.25	2.61	2.52	2.36	2.69	1.73	0.31	0.20
i	0.18	0.19	4.21	4.11	3.20	4.55	0.66	0.51	0.30
j	0.17	0.24	2.49	2.81	4.01	5.01	0.51	0.71	0.44
k	0.28	0.35	3.95	4.11	4.69	4.33	4.34	0.53	0.43
l	0.28	0.51	0.39	0.50	0.41	0.48	0.44	0.40	0.38
m	0.30	0.42	0.44	0.55	0.30	0.37	0.29	0.42	0.34
n	0.81	0.88	0.51	1.04	0.32	0.61	0.53	0.61	0.47
ñ	0.63	0.77	1.08	1.24	1.20	1.41	1.39	1.56	1.10
o	1.00	1.20	1.64	2.04	2.16	2.36	2.65	2.76	2.11

Tabla 10: Factor de día en el edificio escolar modelo Real **Figura 113:** Factor de día en el edificio escolar modelo real



Pruebas al Aire libre (modelo a escala)

Tabla de niveles de LUX en Patio de la planta baja (Día Despejado Modelo a Escala, 2 de junio de 2008)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
a	169.00	152.00	161.00	172.00	65.00	47.00	70.00	45.00	63.00
b	176.00	159.00	174.00	186.00	74.00	69.00	165.00	177.00	164.00
c	194.00	178.00	178.00	195.00	198.00	176.00	128.00	213.00	155.00
d	196.00	55.00	192.00	163.00	187.00	192.00	139.00	227.00	174.00
e	195.00	85.00	92.00	98.00	88.00	87.00	455.00	240.00	219.00
f	181.00	207.00	245.00	226.00	202.00	201.00	271.00	265.00	320.00
g	274.00	675.00	3515.00	2333.00	3710.00	2005.00	3260.00	320.00	350.00
h	272.00	446.00	5775.00	5680.00	4930.00	3221.00	2640.00	590.00	472.00
i	282.00	693.00	630.00	670.00	590.00	667.00	648.00	618.00	474.00
j	357.00	695.00	590.00	630.00	530.00	650.00	633.00	650.00	405.00
k	435.00	470.00	440.00	420.00	441.00	447.00	450.00	495.00	434.00
l	429.00	636.00	640.00	625.00	870.00	1802.00	1260.00	1220.00	1390.00
m	739.00	908.00	900.00	1270.00	1250.00	2380.00	1502.00	1870.00	2210.00
n	770.00	2180.00	1526.00	3418.00	2080.00	3266.00	2980.00	2950.00	2900.00
ñ	2234.00	2569.00	3522.00	5250.00	4510.00	4990.00	4440.00	3246.00	2950.00
o	3334.00	3853.00	5730.00	6520.00	6470.00	5790.00	5360.00	5700.00	4500.00

Tabla 11: Tabla de lux en el edificio escolar modelo a escala.

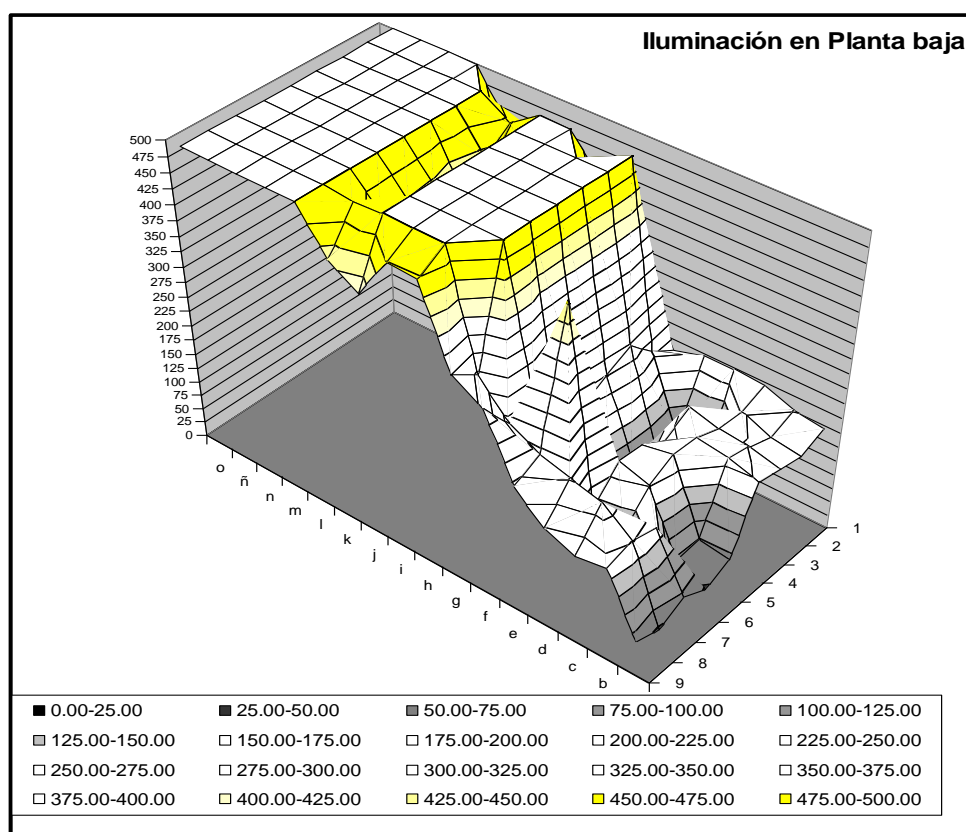


Figura 114: Gráfica de lux en el edificio escolar modelo a escala

Se registraron las mediciones (Tabla 11) de los niveles de lux en los puntos de la retícula empleada en el modelo real para compara (Figura114) que el modelo a escala se comporta de la misma manera que el edificio real, para una vez instalado el dispositivo, las medidas que se registren con él serán como si estuviera en el modelo real a esc.:1:1.

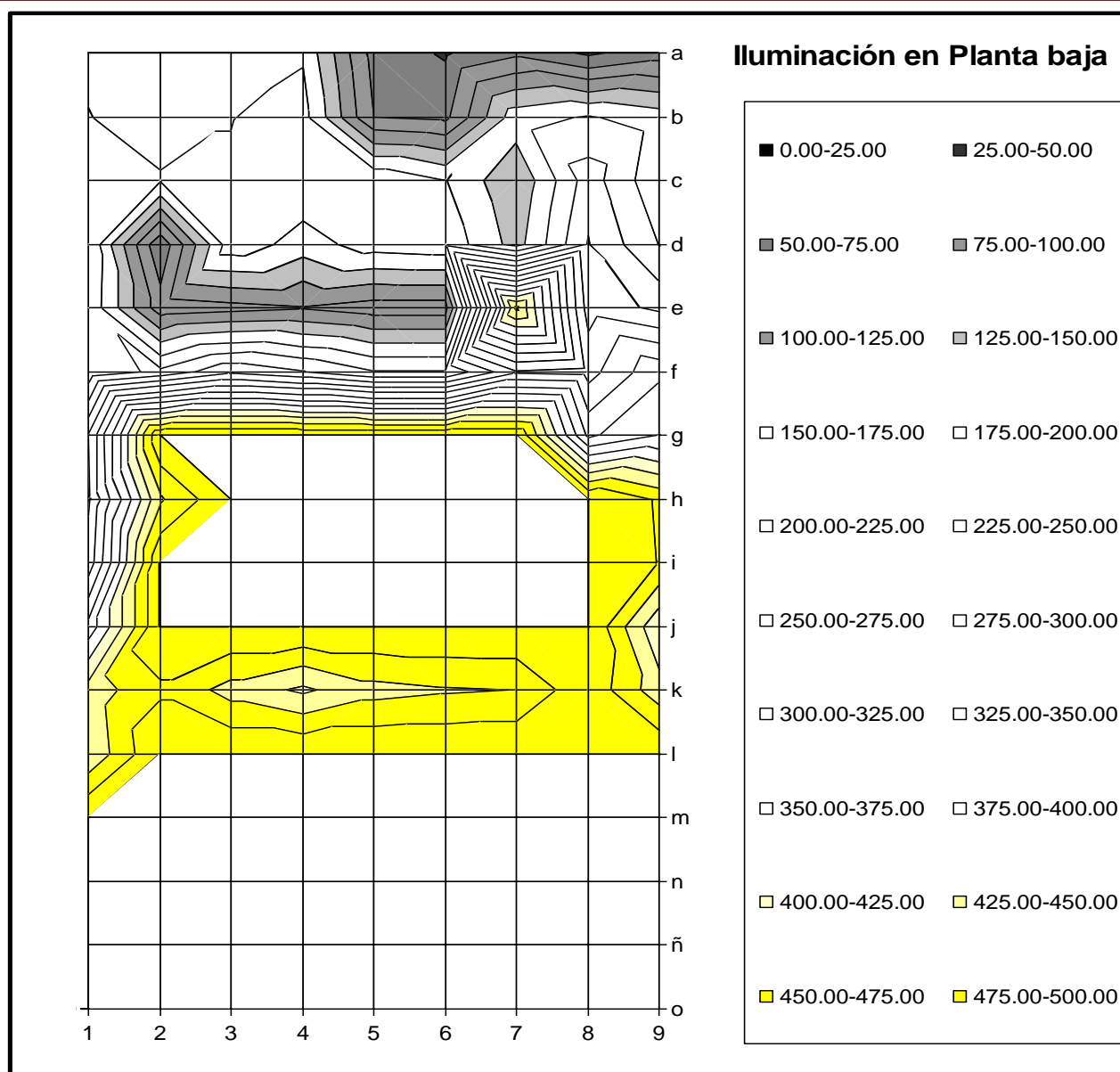


Figura 115: Gráfica de isolux, edificio escolar modelo a escala 2 de junio 2008 (área blanca con nivel de confort).

En la gráfica de la planta del edificio escalar en el modelo a escala se observa el mismo comportamiento al real el área cerca del acceso en la más carente de iluminación natural mientras en la zona central corresponde al patio de estudio y la parte más baja o en los ejes “l al o” se ilumina por medio del patio posterior como en el edificio real por lo tanto el modelo a escala se comporta lumínicamente similar al real. Solo en los ejes del “a al b” y del “4 al 9” se observa una zona de penumbra la cual fue iluminada con el dispositivo instalado en el pretil del patio, las áreas de color amarillo simulan zonas de deslumbramiento por el exceso de iluminación o niveles muy altos de lux registrados contra puntos de la misma zona (Figura 115).

Factor de Día en Patio de la planta baja (Día Despejado Modelo a Escala, 2 de junio de 2008)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
a	1.57	1.46	1.54	1.66	0.64	0.47	0.67	0.44	0.59
b	1.63	1.53	1.67	1.79	0.72	0.69	1.57	1.73	1.54
c	1.80	1.71	1.71	1.88	1.94	1.75	1.22	2.08	1.46
d	1.82	0.53	1.84	1.57	1.83	1.91	1.32	2.22	1.63
e	1.81	0.82	0.88	0.94	0.86	0.87	4.33	2.34	2.06
f	1.68	1.99	2.35	2.18	1.98	2.00	2.58	2.59	3.00
g	2.59	6.35	31.75	22.39	34.90	19.13	30.87	3.22	3.41
h	2.58	4.20	52.17	54.51	46.38	30.73	25.00	5.93	4.60
i	2.67	6.52	5.69	6.43	5.55	6.36	6.14	6.21	4.62
j	3.38	6.54	5.33	6.05	4.99	6.20	5.99	6.53	3.95
k	4.20	4.49	4.00	3.94	4.21	4.40	4.34	4.71	4.24
l	4.14	6.07	5.82	5.87	8.31	17.74	12.16	11.60	13.59
m	7.13	8.67	8.19	11.92	11.94	23.43	14.50	17.78	21.60
n	7.43	20.82	13.89	32.09	19.87	32.15	28.76	28.04	28.35
ñ	21.56	24.54	32.05	49.30	43.08	49.11	42.86	30.86	28.84
o	30.78	35.71	55.15	62.51	62.33	56.65	53.39	54.18	43.95

Tabla 12: Factor día del modelo a escala edificio escolar.

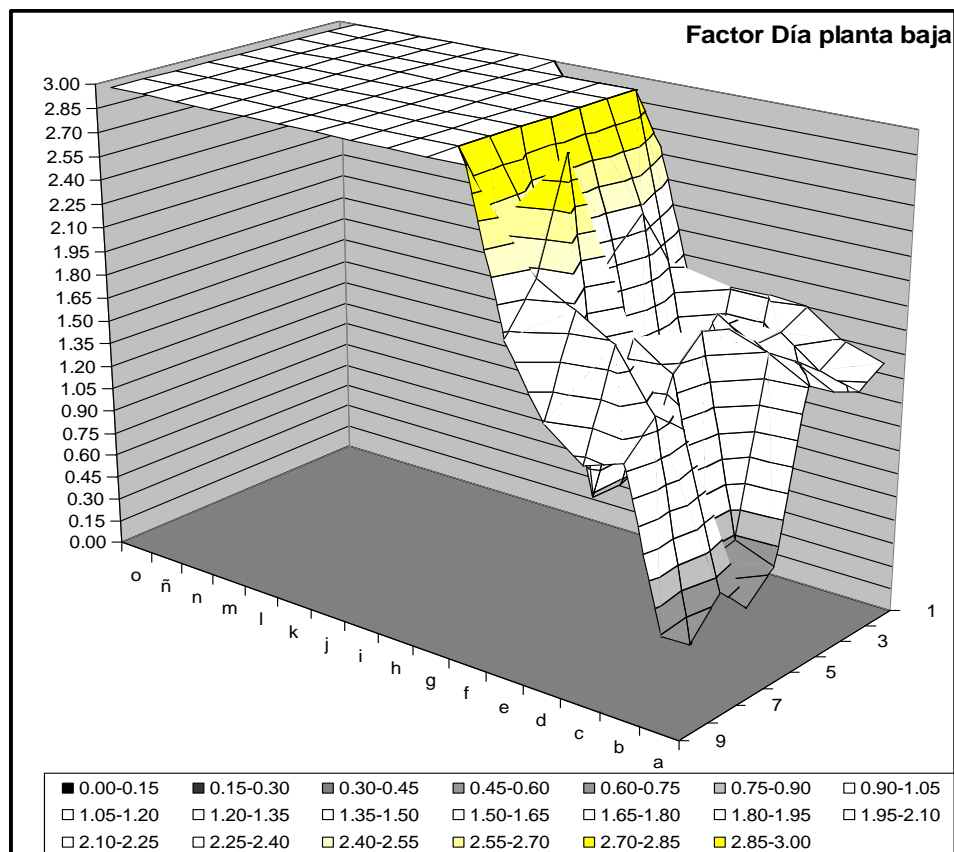


Figura 116: Gráfica de isolux, edificio escolar modelo a escala.

La (Tabla 12) muestra el factor día del modelo a escala dicho factor se obtuvo por el registro del nivel de lux a la sombra registrado al mismo tiempo que el punto interior, los registro de los lux en el exterior se registraron a cada dos minutos con una sombra en el foto-sensor a una distancia de 2.00 m. y se observa el (Figura 116) mismo comportamiento de la Gráfica en 3d.

6.1.2 Aplicación de la proyección Gnomónica

Para garantizar la incidencia de la luz natural en diferentes épocas del año se realizó un estudio con el modelo a escala instalando el dispositivo y un gnomon en la parte de la azotea para simular la orientación en diferentes fechas a distintas horas. Este estudio se registró el modelo a escala sin el dispositivo y posteriormente instalándolo, para comprobar que la función de éste era correcta en

cualquier día del año que se pruebe.

En la (Figura 117) se observan dos dispositivos de acero inoxidable con acabado en espejo para mayor reflexión con un desarrollo de 91 cm x 60 cm estos dispositivos se instalaron en el pretil del edificio escolar y se colocó en la azotea un gnomon orientado y ajustado con la latitud y el norte solar verdadero del edificio real para simular las mismas condiciones. Este experimento comprobó que el dispositivo cumple su función en cualquier día del año.

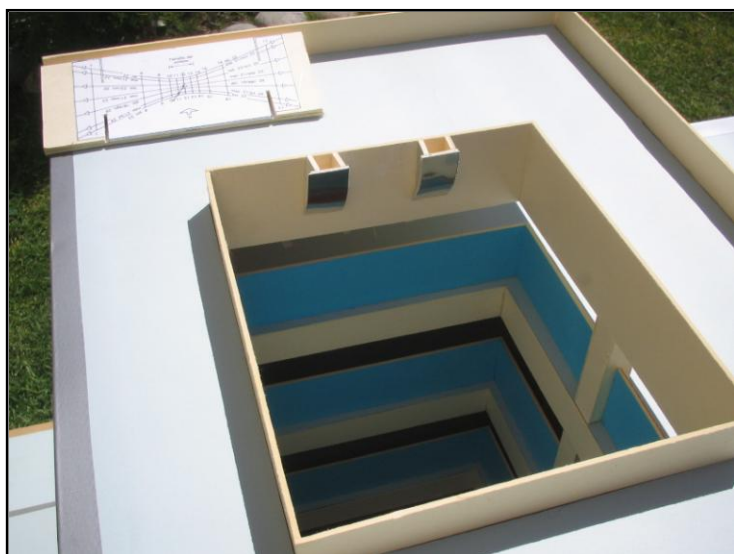


Figura 117: Edificio escolar modelo a escala con gnomon y dos dispositivos instalados de 90 cm de longitud.

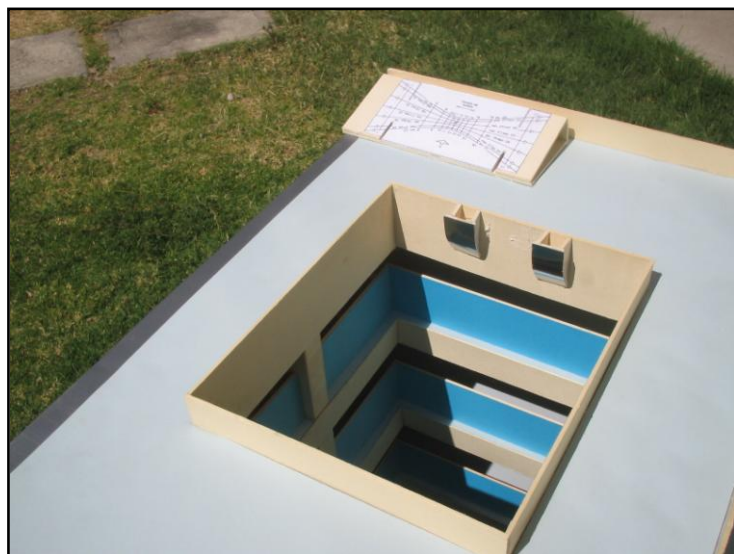


Figura 118: Edificio escolar modelo a escala con gnomon y dos dispositivos instalados de 90 cm de longitud.

El patio en diferentes horas del día tiene dos o más caras (Figura 118) en sombra y las aulas orientadas a esta cara del patio presentan zonas de penumbra pero con el dispositivo incrementa los niveles de iluminación registrados en los puntos de la retícula presentada anteriormente, este experimento demostró que no importando la fecha el dispositivo cumple su función.

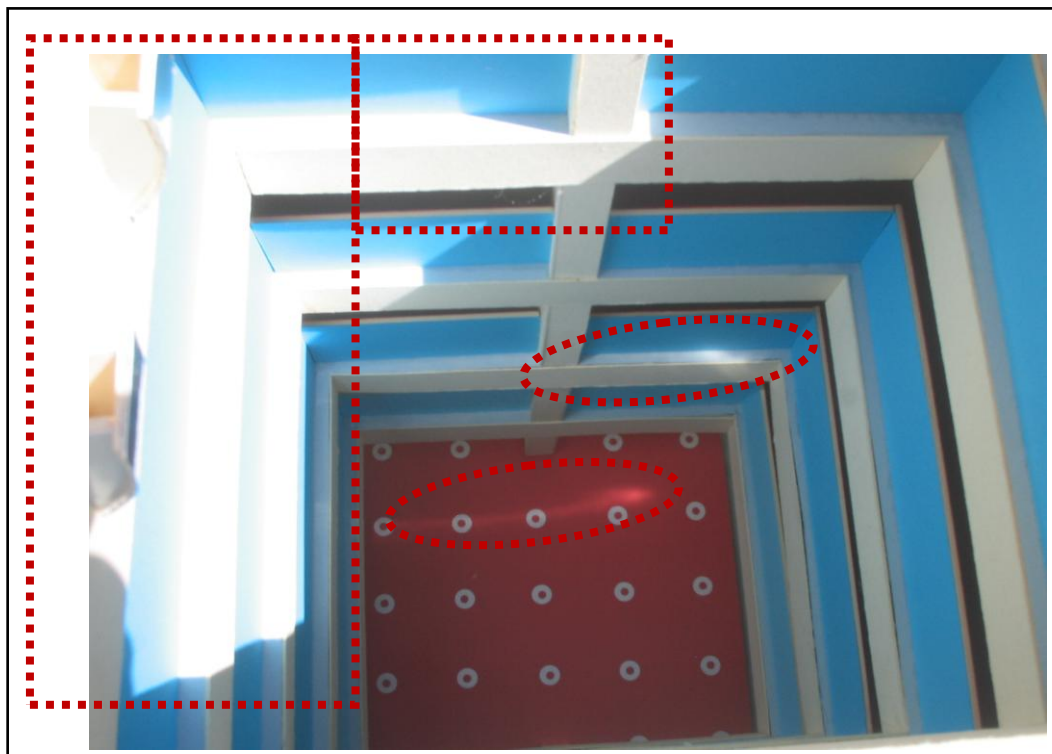


Figura 119: Edificio escolar modelo a escala con dos dispositivos instalados de 90 cm de longitud. Se observa el fondo del patio con la retícula original.

Como se puede observar en la (Figura 119) el dispositivo refleja al fondo y a los muros del patio incrementando los niveles de lux en los pasillos y las aulas orientados a éstos, la prueba se realizó con diferentes fechas gracias al gnomon instalado en la azotea del modelo a escala.

Área de reflexión de la luz natural en el patio y muros.

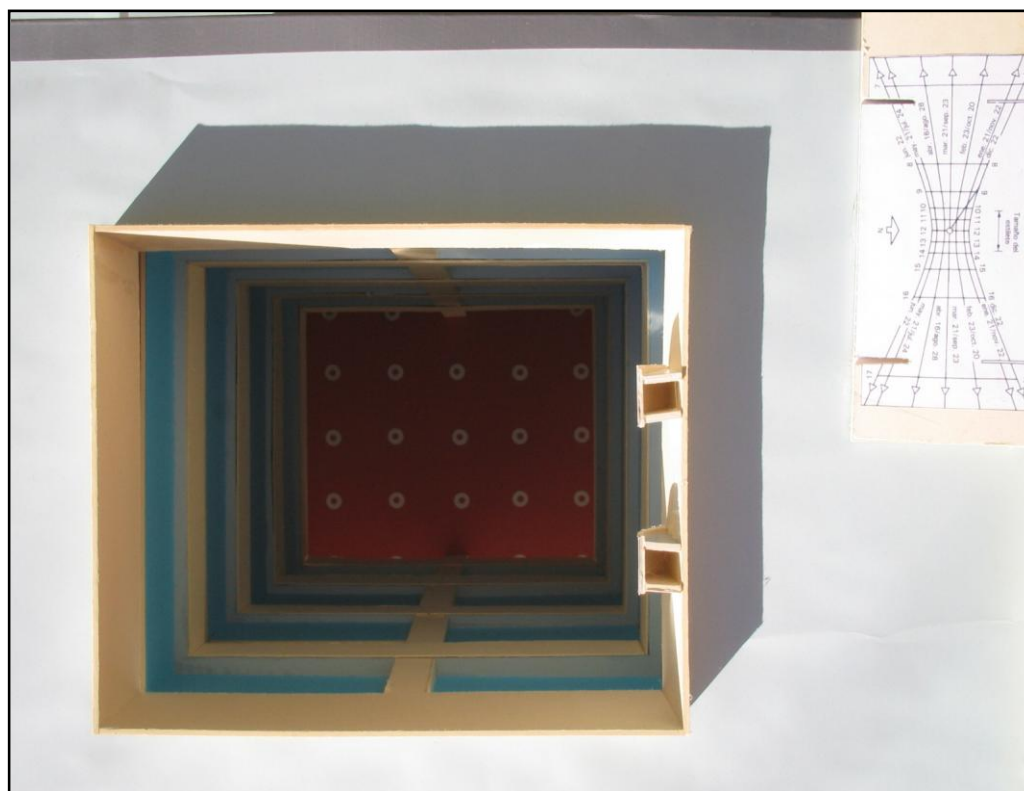


Figura 120: Edificio escolar modelo a escala con gnomon y dos dispositivos en el muro del pretil del patio con sombra.

Como se observa las pruebas y mediciones se registraron en diferentes fechas y horas incluso con los cuatro muros de patio (Figura 120) en sombra junto con el fondo del patio y solo se presentó una pequeña reflexión del dispositivo.

6.1.3 Aplicación de la proyección Láser

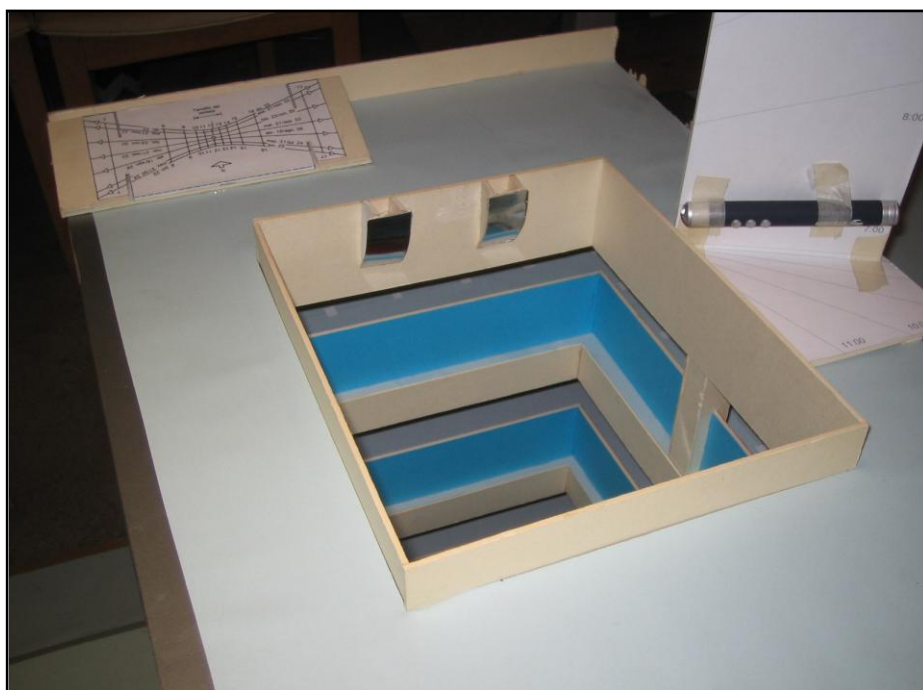


Figura 121: Edificio escolar modelo a escala con láser, reloj solar y dos dispositivos en el muro del pretil del patio.

La prueba del dispositivo con la línea del láser se realizó para verificar la reflexión del dispositivo.

Se creó un reloj solar con fechas: (21 de marzo, 21 de junio y 21 de diciembre) empezando con las 7:00 horas, la finalidad de esta prueba (Figura 121) es verificar que en diferente fecha y hora se cumple la reflexión de la luz y se ilumina el muros del patio.

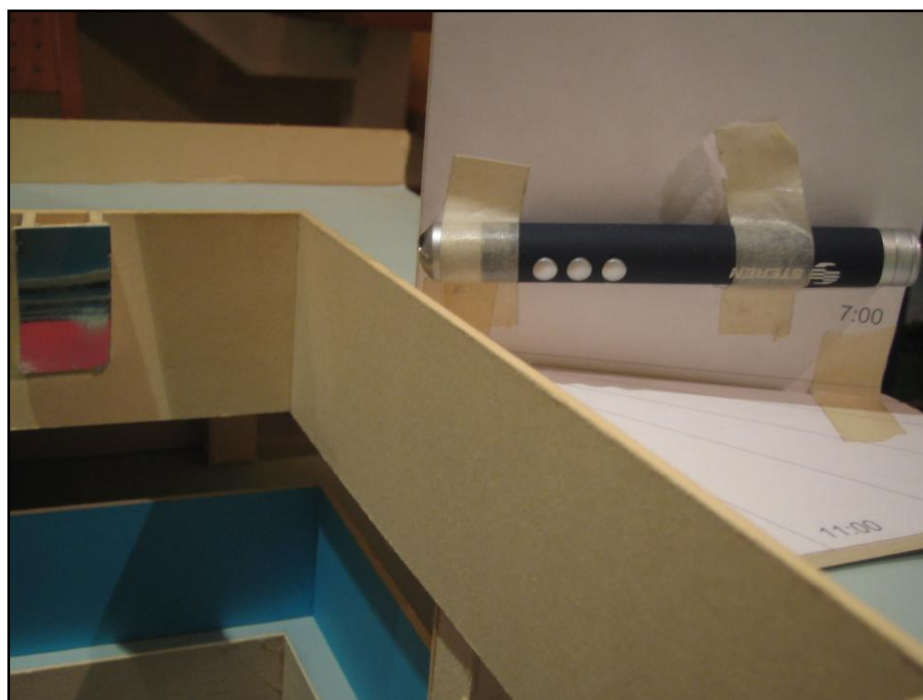


Figura 122: Dispositivo láser en modelo a escala con dos dispositivos lumínicos en fechas y horas variables.

El reloj solar simula la inclinación solar y su rumbo quiere decir que se dirigió el láser en cuestión horizontal conforme a la mecánica solar y en su altura o ángulo solar con el fin que la prueba se lo más real posible y no solo apuntar el láser al dispositivo (Figura 122), obteniendo reflexiones reales.

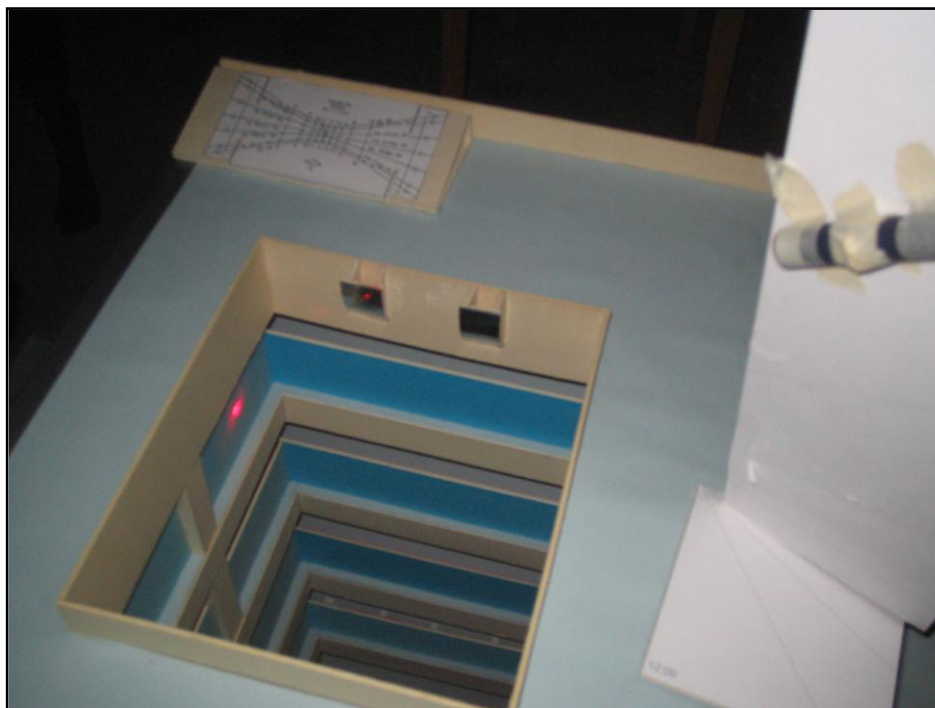


Figura 123: Reflexión a las 11:00 horas de marzo en el modelo a escala con dos dispositivos lumínicos.

Como se observa en la (Figura 123) como es la reflexión a las 11:00 horas en el mes de marzo y recordando este muro donde se refleja está en sombra lo cual ayudará a incrementar los niveles de lux en el pasillo y las habitaciones orientadas a éste. La prueba se realizó en todas las horas e incluso a la 12:00 horas se presenta una reflexión.

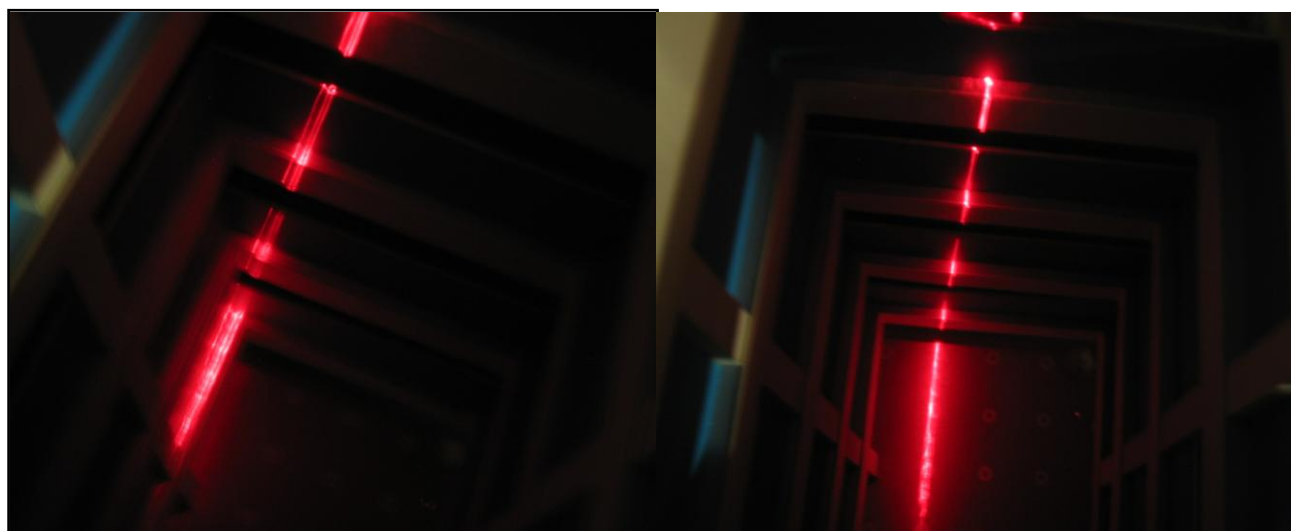


Figura 124: Edificio escolar modelo a escala con el láser y dos dispositivos lumínicos prueba en la oscuridad.

La prueba con el láser se realizó sin luz para apreciar la línea que se forma con la reflexión del láser dicha línea (Figura 124) se refleja desde el dispositivo pasando por los muros del patio y el fondo de este y lo más importante es que se comprueba lo expuesto en pruebas anteriores. La imagen de la derecha muestra perfectamente la línea de reflexión por los puntos de lectura del patio, la retícula original de levantamiento de niveles de lux.

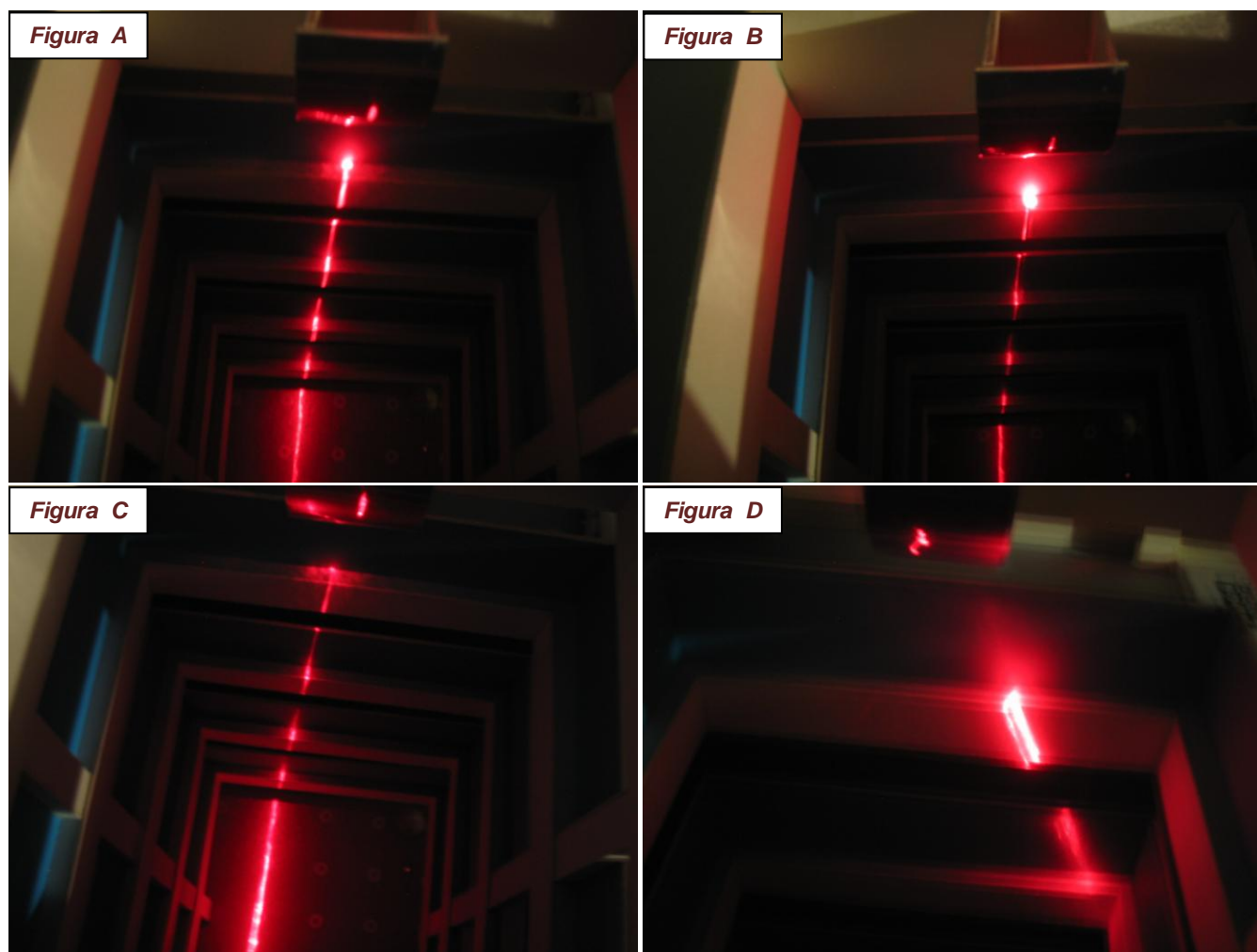


Figura 125 (A, B, C y D): Edificio escolar modelo a escala con láser y dos dispositivos lumínicos comprobación de la reflexión en los muros y el fondo del patio.

En las imágenes (Figura 125), se observa la trayectoria de la línea del láser formando perfectamente la reflexión en las caras de los muros del patio y en el fondo de éste. Para lograr que la línea de luz láser se observe se colocó humo en el fondo del modelo a escala y con ayuda del reloj solar se trazó el recorrido del paso de las horas.

- **Imagen (A):** reflexión en un dispositivo con reflexión en la cara donde instaló el dispositivo y en el fondo del patio.
- **Imagen (B):** reflexión de la luz durante el paso de las horas.
- **Imagen (C):** la reflexión es más intensa en el fondo del patio.
- **Imagen (D):** la reflexión producto del rayo de las 16:00 horas del mes de marzo-septiembre.

Modelo a escala



6.2 Edificio Habitacional (Departamentos)

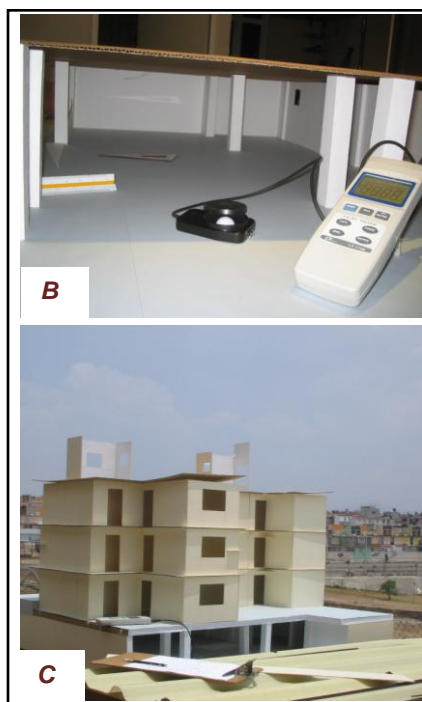
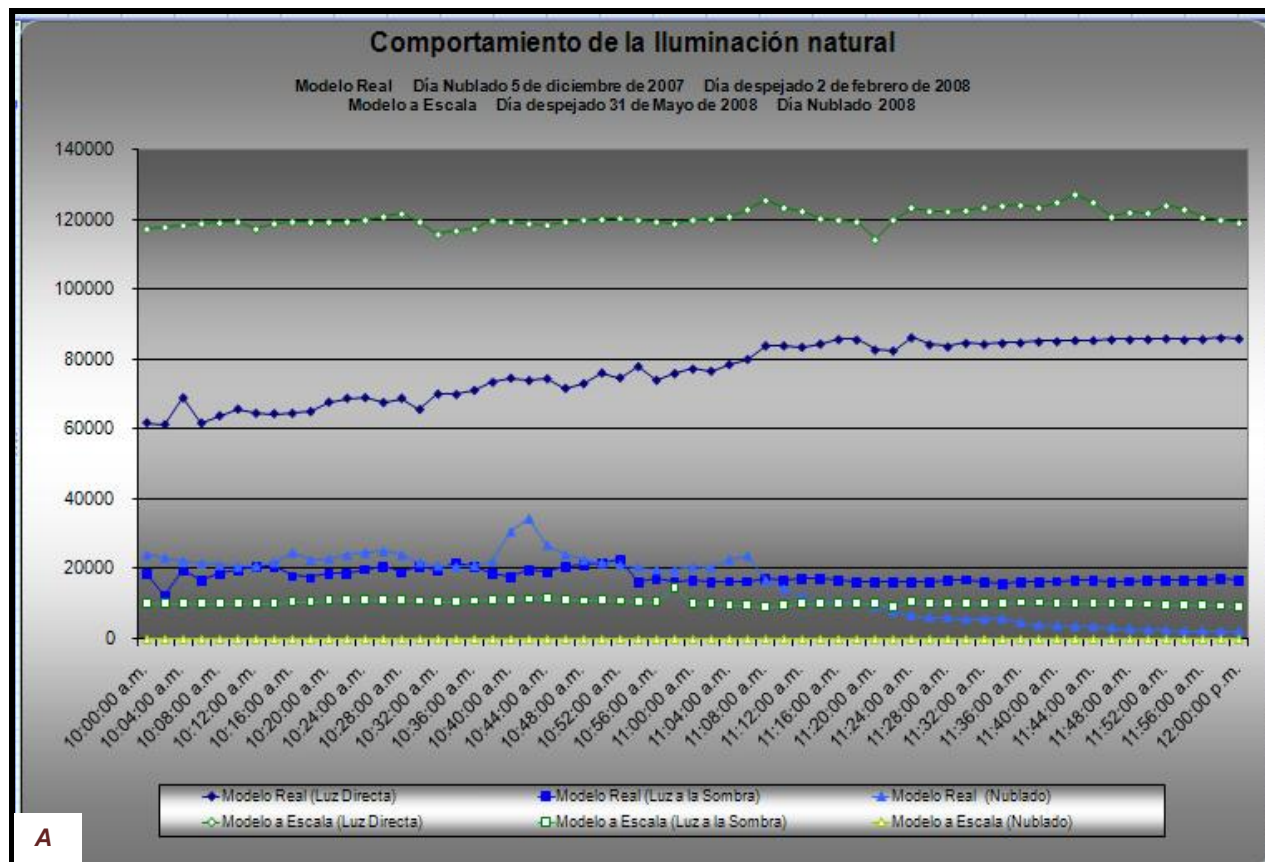


Figura 127 (A, B, y C): Gráfica del comportamiento de la luz en el exterior, maqueta del edificio habitacional en proceso y pruebas en el modelo a escala del edificio habitacional.

La gráfica muestra (Figura 127, A), el comportamiento de la luz natural registrada a cada dos minutos, la luz exterior se midió a luz directa y a la sombra con la cual se calculará el factor día de cada punto de medición que corresponde a la retícula plasmada en las plantas arquitectónicas.

El modelo a escala se fabricó de cartón de batería grueso y se forró de papel mate simulando los acabados (Figura 127, B), los entresijos se fabricaron de corrugado en bastidor para simular el espesor de la losa y final mente el modelo terminado se probó al exterior en dos condiciones de cielo (despejado y nublado) (Figura 127, C).

6.2.1 Pruebas al Aire libre día despejado (2 de febrero de 2008)

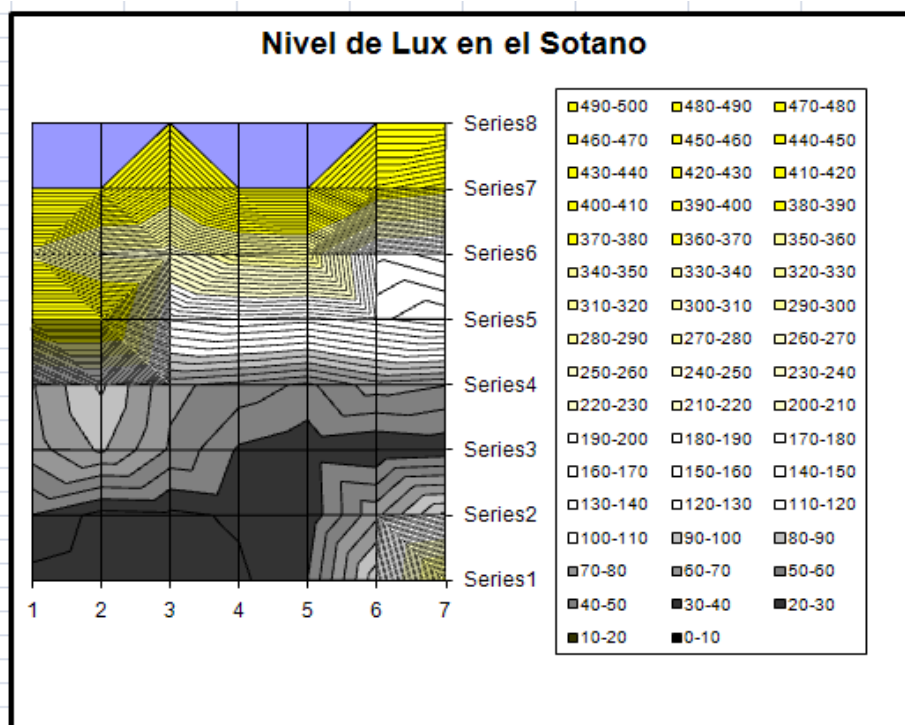


Figura 128: Gráfica de isolux del sótano del edificio habitacional.

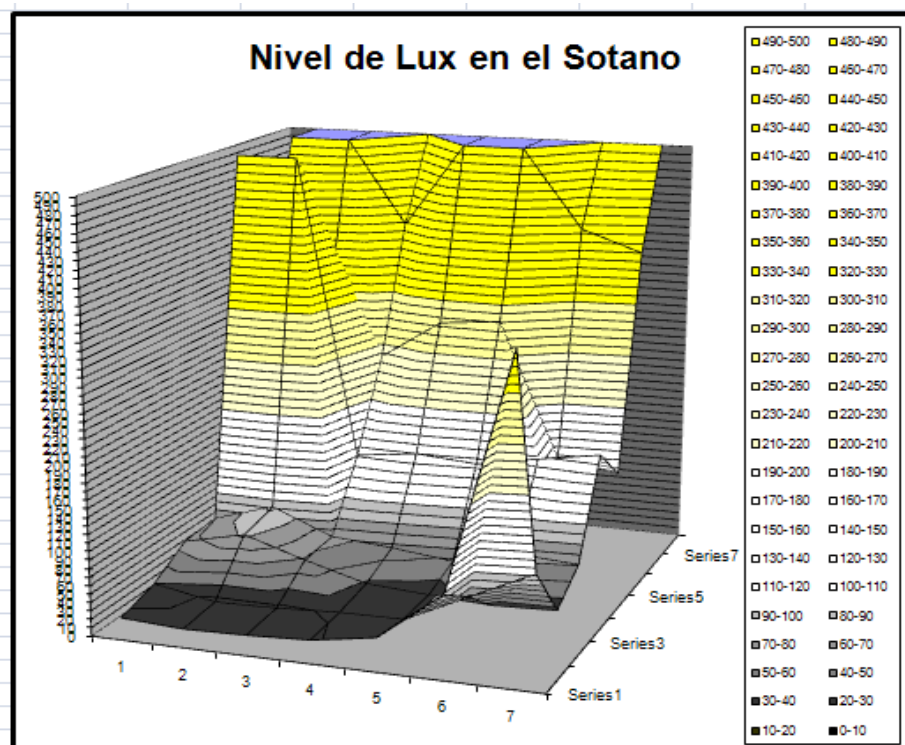


Figura 129: Gráfica de niveles de lux en 3 dimensiones.

Para el caso de estudio “B”, edificio habitacional se seleccionó el sótano para tomarlo como muestra (Figura 128) gráfica de isolux del sótano del edificio habitacional, el cual presenta mayores zonas de penumbra y áreas de oscuridad pero se realizó el estudio de todo el edificio para comprobar el comportamiento del dispositivo de 91 x 61 en acero inoxidable en acabado en espejo.

La gráfica en 3ds, (Figura 129) muestra las zona de penumbra y oscuridad y las entradas de luz las cuales corresponden al patio posterior, a los dos cubos de iluminación y el acceso vehicular. Estas entradas de luz son escasas para cumplir con el mínimo necesario requerido en el reglamento RCDF.

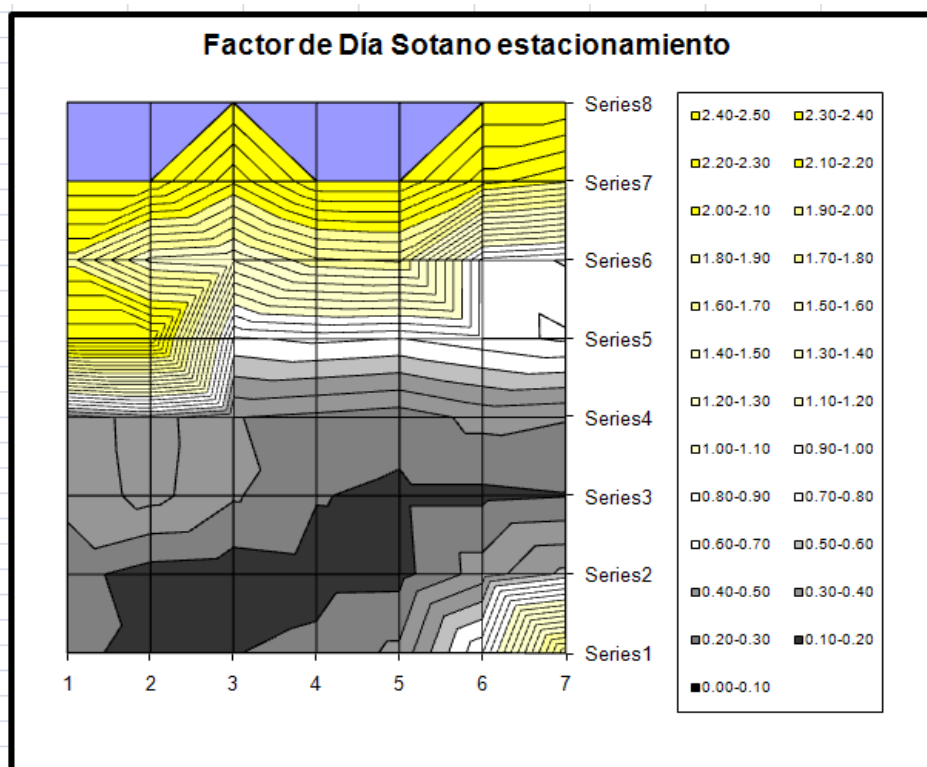


Figura 130: Gráfica del factor día en isolux del sótano del edificio habitacional.

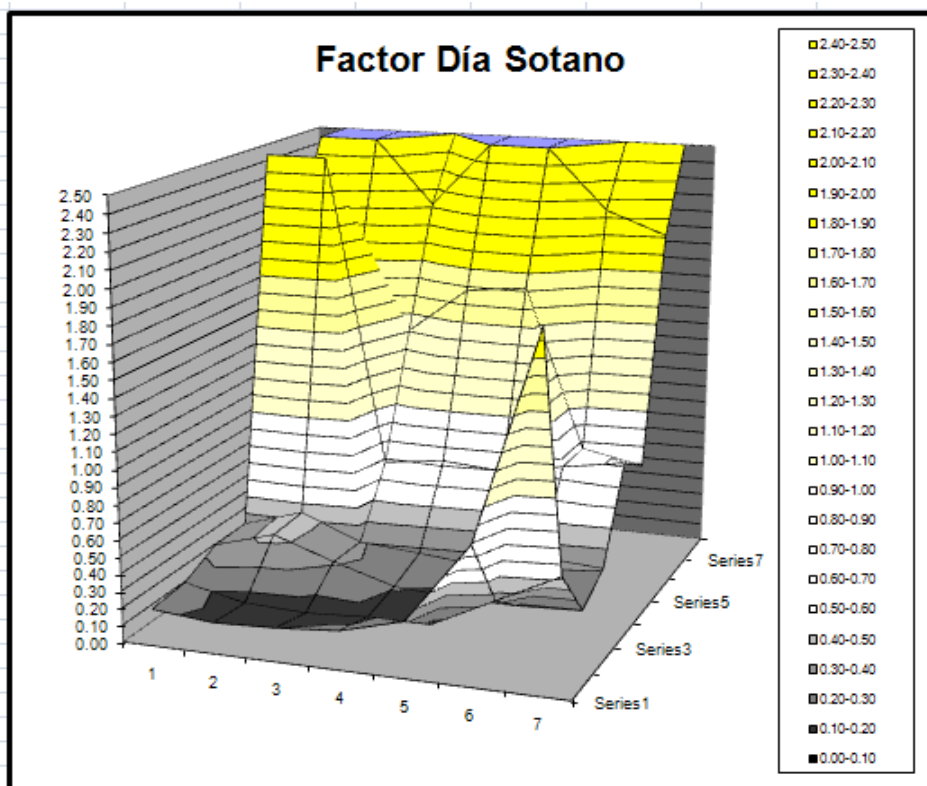


Figura 131: Gráfica del factor día en los niveles de lux en 3 dimensiones.

Para garantizar que el modelo a escala se comporta de la misma manera que el edificio real se calculó el factor día para conocer el porcentaje de lux exterior con los niveles de lux registrados en el interior como se observa en la (Figura 130) los niveles de color gris y negro van reflejando áreas de penumbra y oscuridad mientras que las zonas de color blanco representa el nivel de confort requerido por el reglamento de construcción para el Distrito Federal. La (Figura 131) muestra el comportamiento del factor día en 3ds en la cual se observa que son similares con los niveles registrados en la imagen 124, pero lo importante es que el modelo a escala se comporte como el edificio real.

Aire libre día nublado (5 de diciembre de 2007)

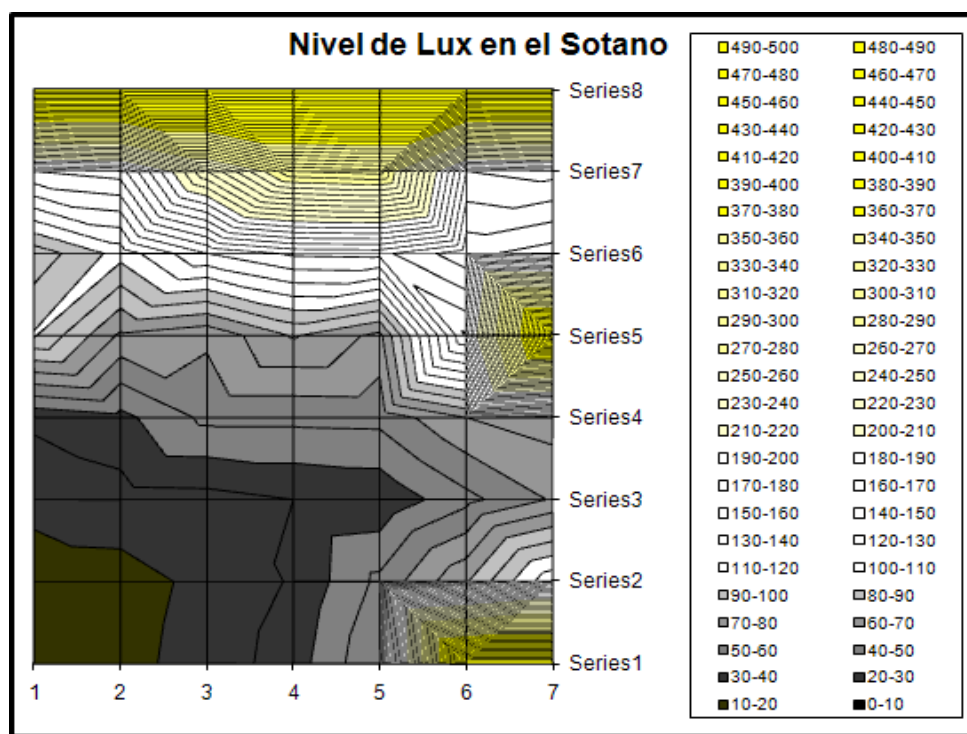


Figura 132: Gráfica en isolux del sótano del edificio habitacional día nublado.

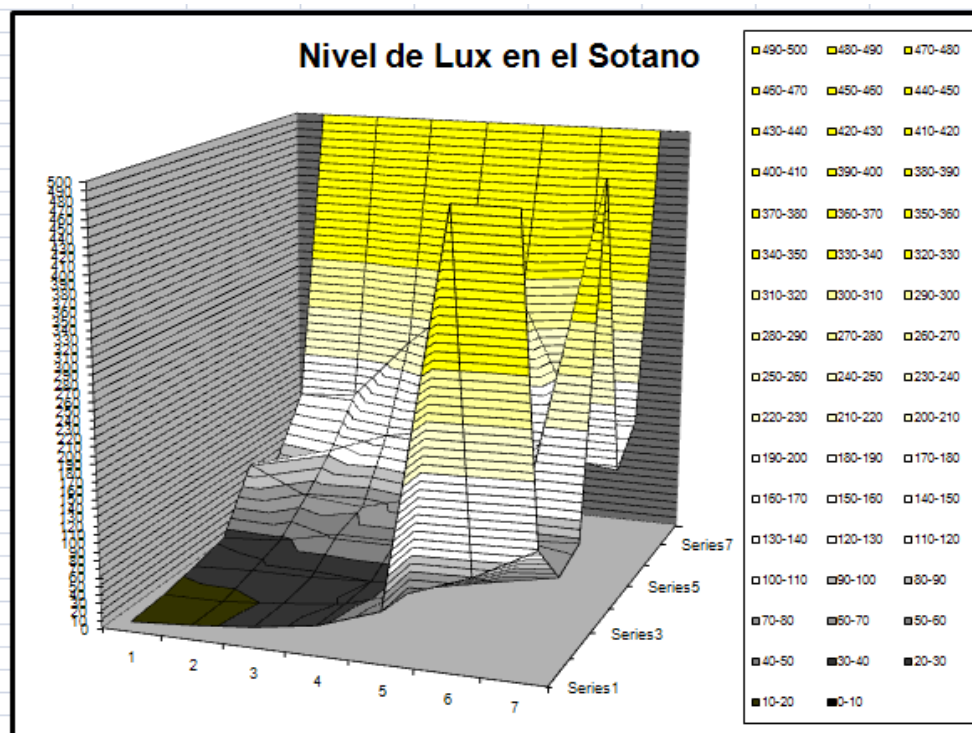


Figura 133: Gráfica de los niveles de lux en 3 dimensiones día nublado.

Se realizó la prueba del dispositivo en dos condiciones de cielo en un día despejado como se muestra en las gráficas anteriores y en una condición de cielo nublado como es el caso de la (Figura 132) donde podemos apreciar mayores zonas de penumbra en la gráfica de isolux o planta del edificio real y solo se muestran las entradas de luz como son el patio posterior, los dos cubos de iluminación y el acceso vehicular. La gráfica en 3ds (Figura 133), de la planta del sótano nos muestra el comportamiento de la luz y las zonas que se compone esta gráfica en colores amarillos el deslumbramiento, el blanco en confort y los grises en discomfort.

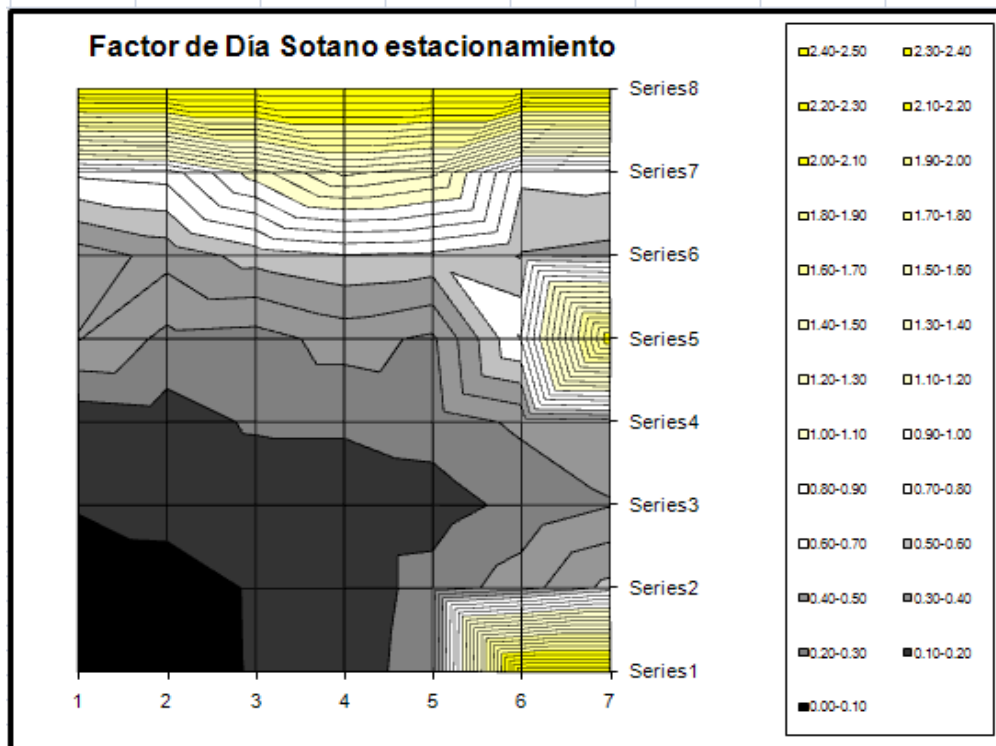


Figura 134: Gráfica del factor día isolux del sótano del edificio habitacional día nublado.

Se calculó el factor día de las mediciones de la condición de cielo unblado para compararlo con el factor día del modelo a escala dicho factor se muestra en la gráfica (Figura 134) en planta o isolux identificando las áreas de penumbra, confort y deslumbramiento.

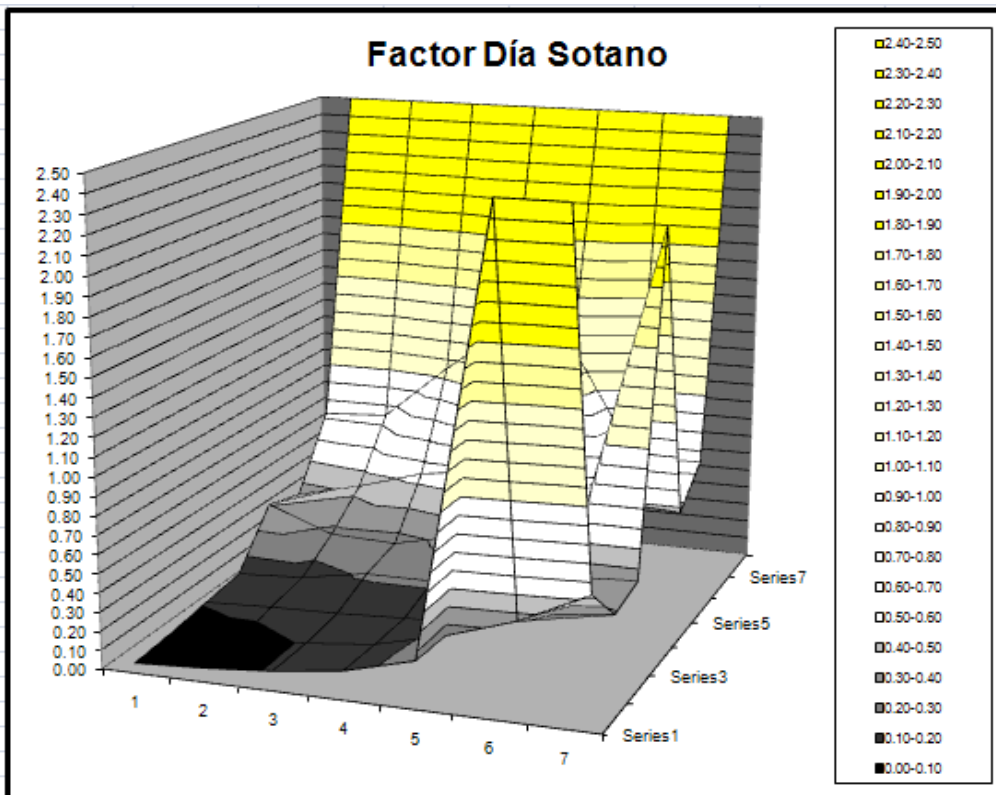


Figura 135: Gráfica del factor día de los niveles de lux en 3 dimensiones día nublado.

También se observa claramente las entradas de luz y con respecto a la gráfica en 3ds (Figura 135) se ve un comportamiento similar a los niveles registrados en el levantamiento de los puntos de la retícula plasmada desde el inicio del experimento.

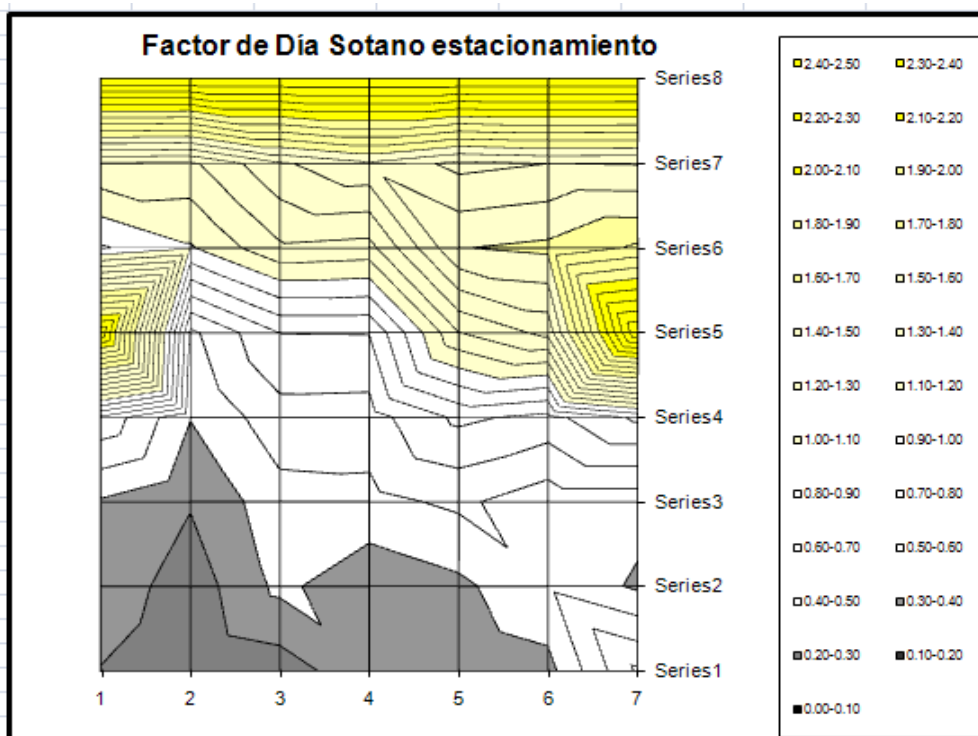


Figura 136: Gráfica del factor día en isolux del sótano del modelo a escala día despejado.

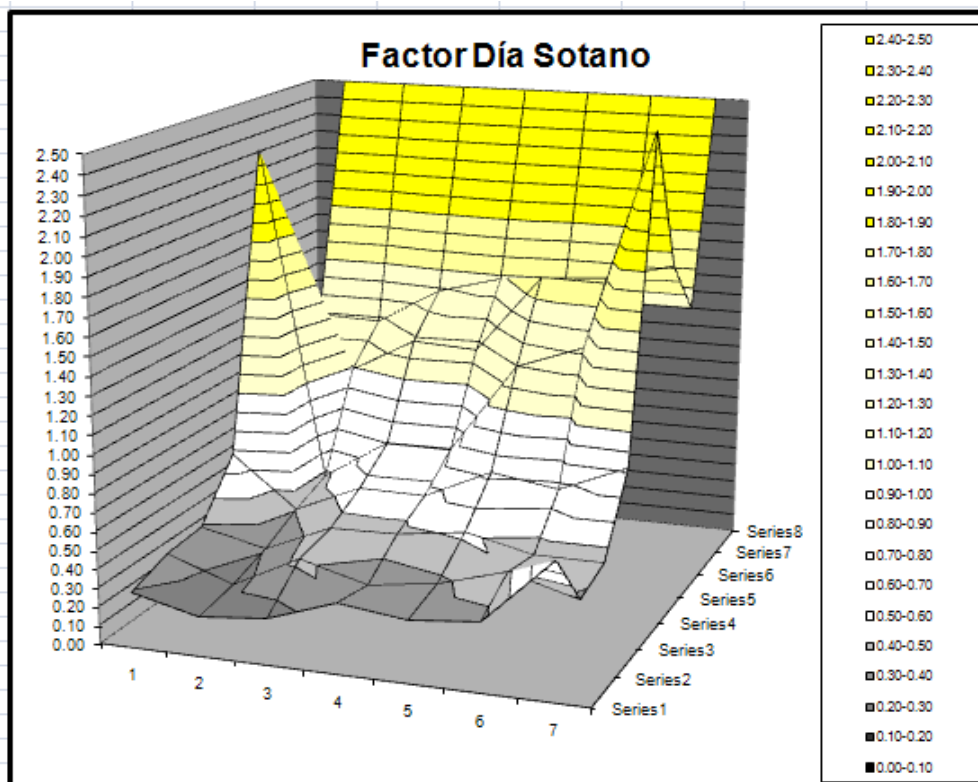


Figura 137: Gráfica del factor día en los niveles de lux en 3 dimensiones en modelo a escala día despejado.

Las mediciones del modelo a escala se comportan similares al real con fallas con un grado de una tolerancia menor por lo cual se garantiza que instalando el dispositivo a escala fue como si lo colocáramos en escala 1:1 en la (Figura 136), se observa en un área con color azul el nivel que sobrepasa los niveles máximos, en amarillo el deslumbramiento, en blanco el nivel de confort y en gris la penumbra. En la gráfica 3ds, se observa (Figura 137), un comportamiento similar con el modelo a escala mostrando en el interior del sótano una pequeña área de discomfort lumínico.

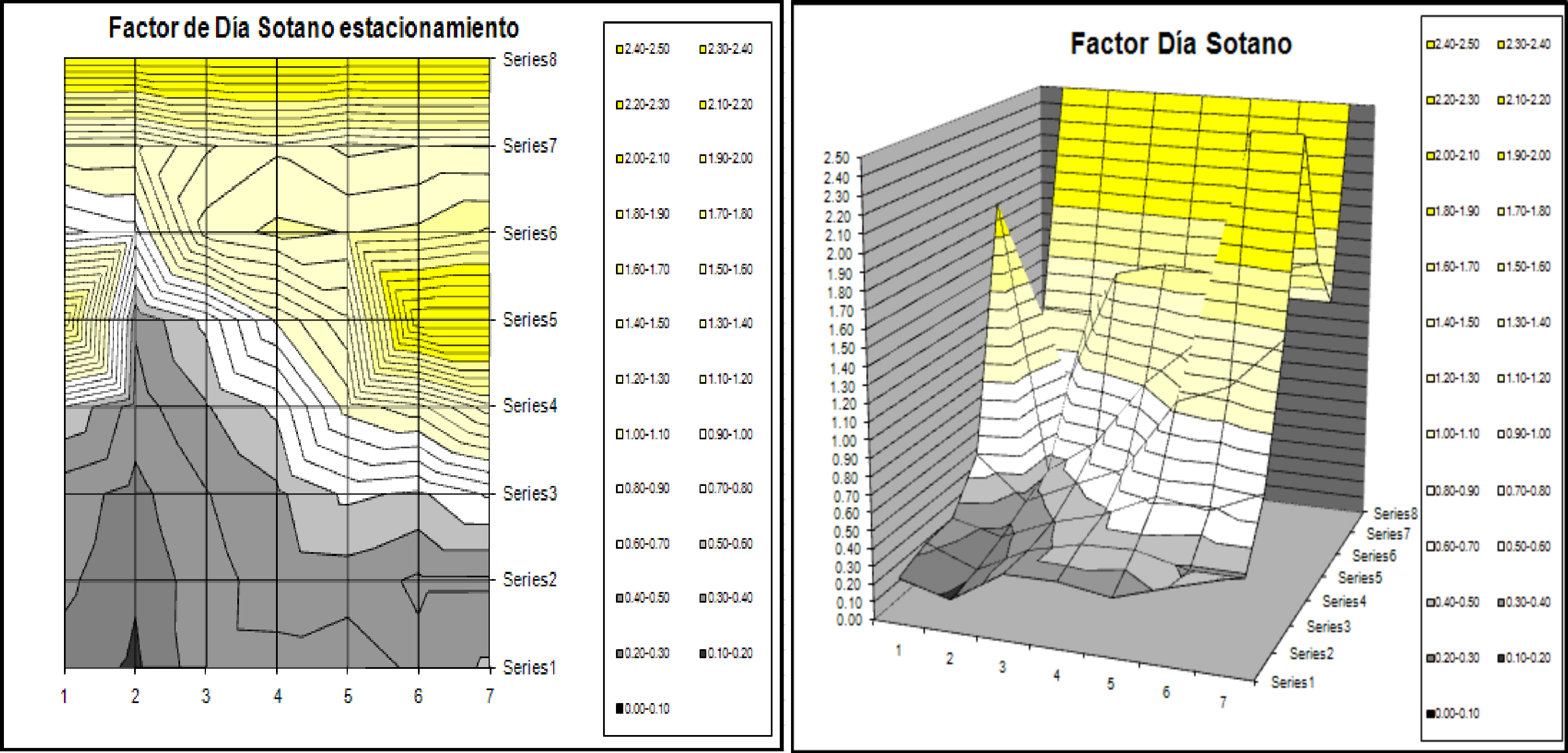


Figura 138: Gráfica del factor día en isolux del sótano del modelo a escala día despejado.

Figura 139: Gráfica del factor día en los niveles de lux en 3 dimensiones en modelo a escala día despejado.

Se calculó el factor día de las lecturas del nivel (Figura 138), de estacionamiento en el edificio habitacional en el modelo a escala comparando las gráficas con el modelo real y determinando que se comportan de la misma manera o registran el mismo porcentaje de luz con respecto a la exterior registrada a la sombra.

Los mismo datos se graficaron en un modelo 3ds (Figura 139), para dictaminar el comportamiento con el modelo real es similar con el del modelo a escala, lo cual nos garantiza que el dispositivo que se instala en el pretil del modelo a escala fue como si lo instaláramos en el real.

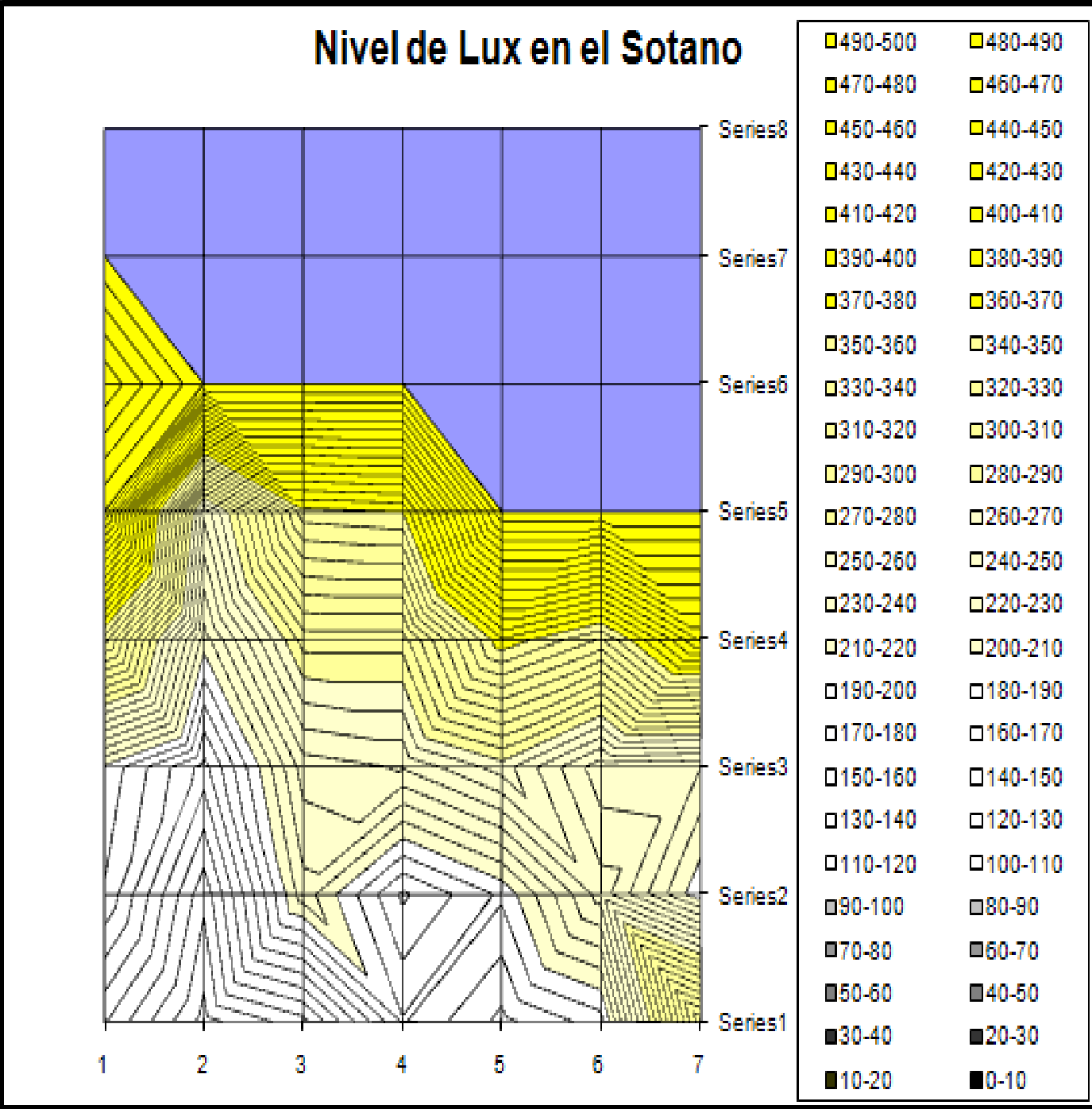


Figura 140: Gráfica en isolux del sótano del modelo a escala día despejado con dispositivo en acero inoxidable en acabado espejo.

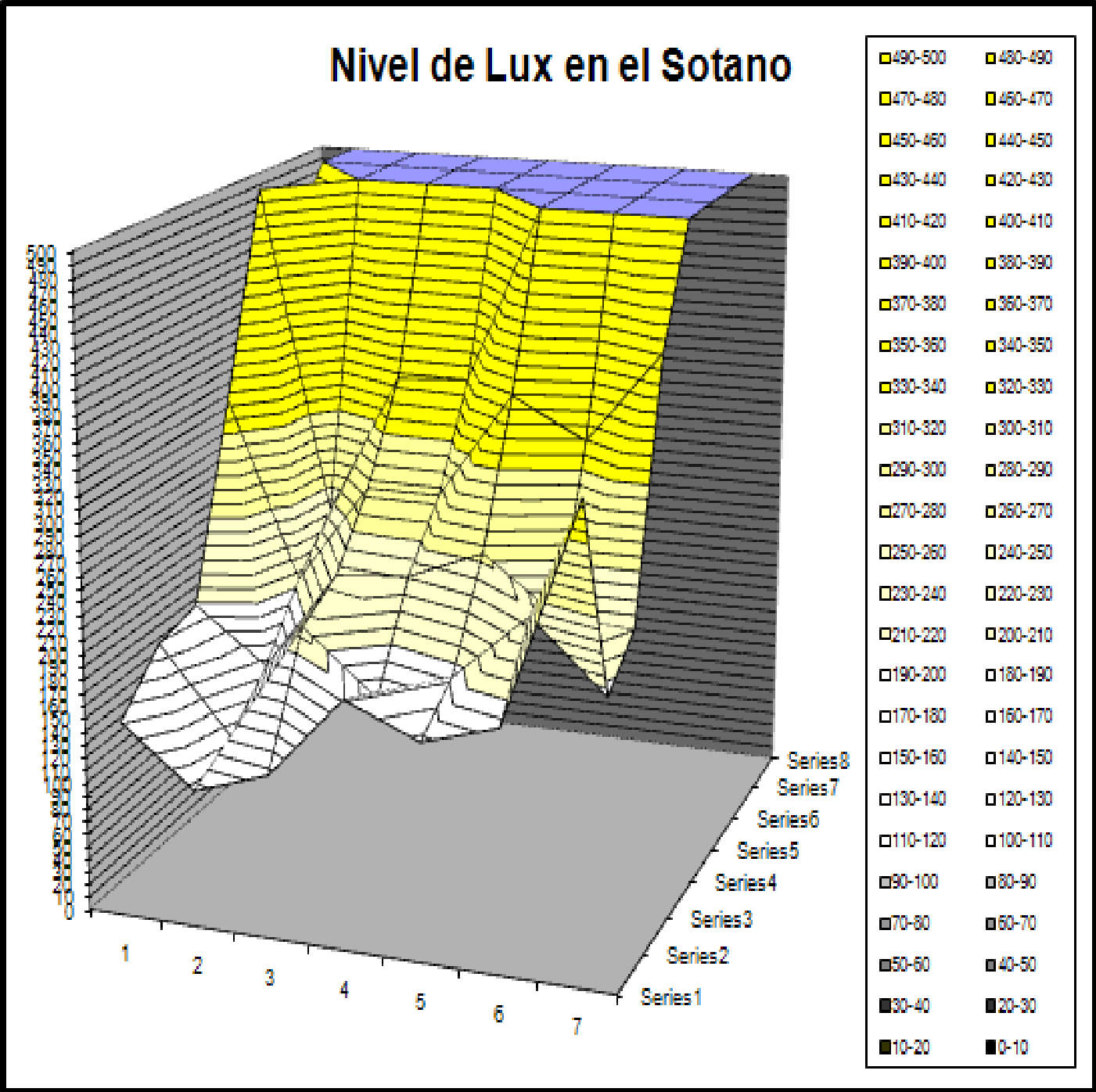


Figura 141: Gráfica en los niveles de lux en 3 dimensiones en modelo a escala día despejado con dispositivo en acero inoxidable en acabado espejo.

Estas Gráficas (Figura 140), muestran el comportamiento de los niveles de iluminación en lux del modelo a escala instalando el dispositivo en acero inoxidable con acabado en espejo con dimensiones de 91 cm x 61 cm. Como se observa hay un incremento notable en las series 1 y 2 del tramo del 1 al 7 la cual era la zona de penumbra y el comportamiento en la gráfica de 3ds (Figura 141) se muestra con mayor claridad una contante en la lectura de los niveles de lux registrados con la misma retícula propuesta desde el inicio. Esta lectura nos muestra la zona de confort lumínico con mayor uniformidad.

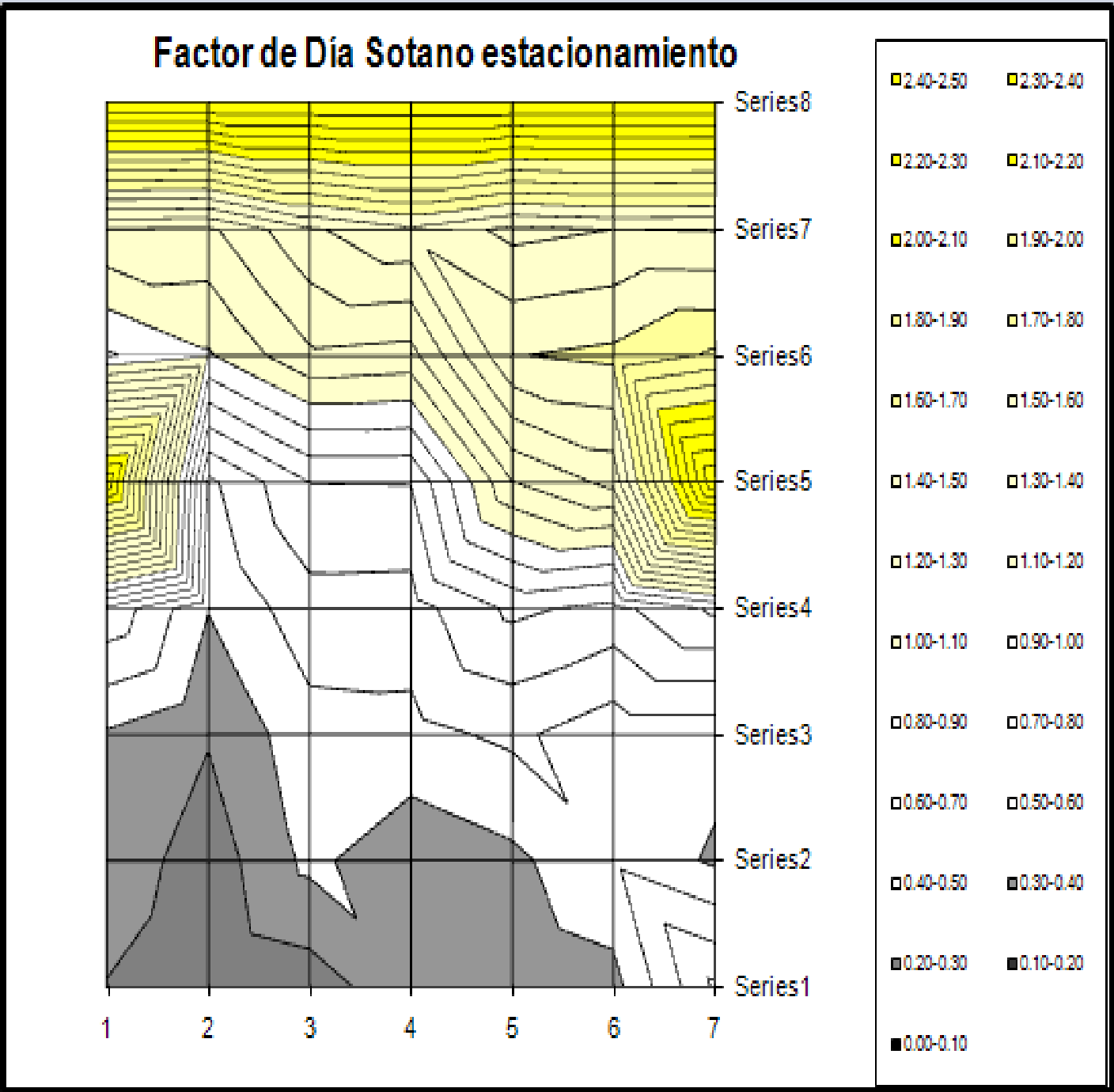


Figura 142: Gráfica del factor día en isolux del sótano del modelo a escala día despejado con dispositivo en acero inoxidable en acabado espejo.

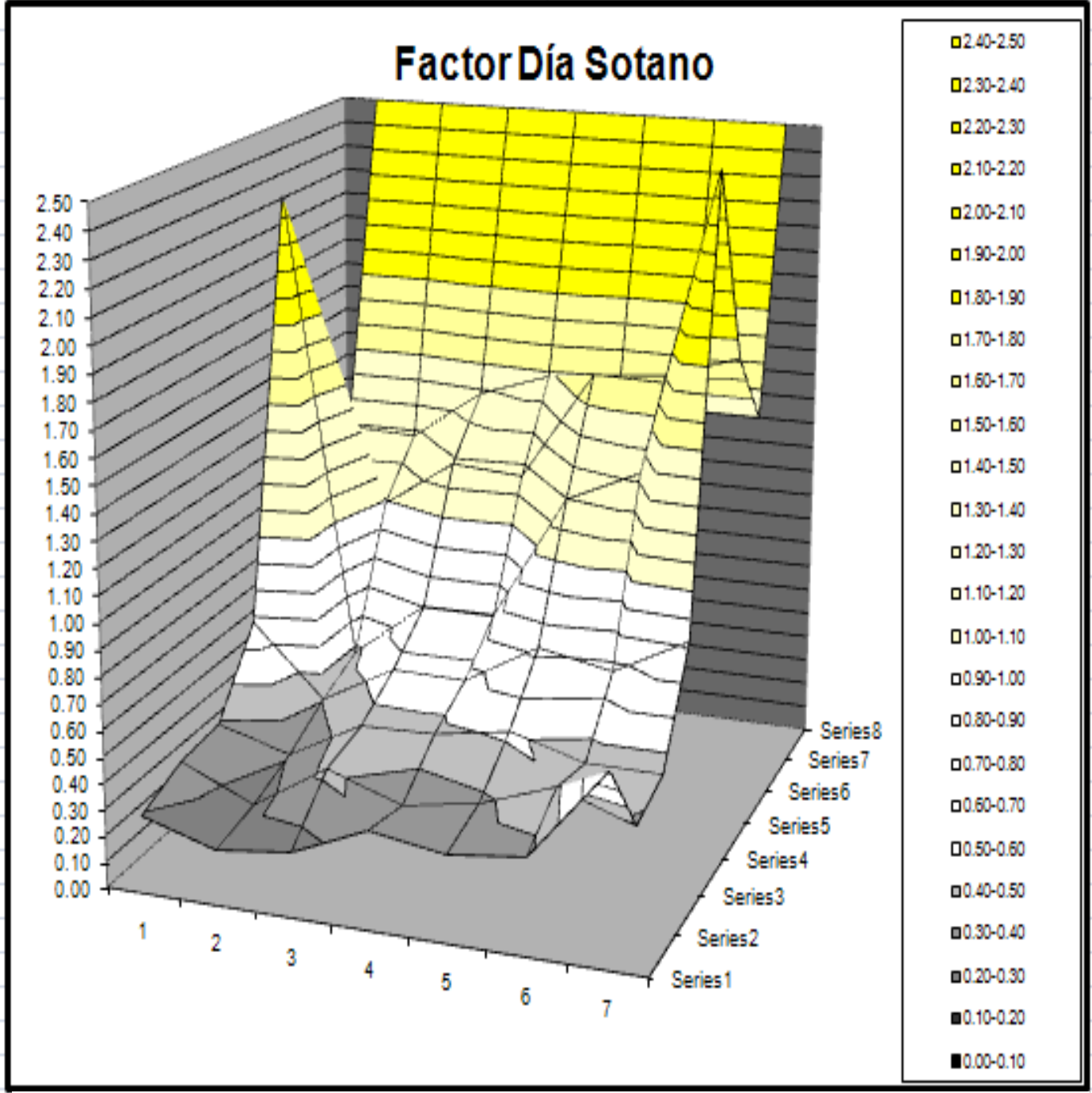


Figura 143: Gráfica del factor día en los niveles de lux en 3 dimensiones en modelo a escala día despejado con dispositivo en acero inoxidable en acabado espejo.

Para garantizar que es la misma cantidad de luz medida en lux en el modelo a escala con el modelo real se calculó el factor día (Figura 142), y lo mismo se realizó en el edificio habitacional se registraron los niveles de lux en el modelo a escala sin el dispositivo y posteriormente con el dispositivo y se calculó el factor día para compararlo con el del modelo a escala sin el dispositivo y verificar el incremento en luz en los puntos registrados en la retícula y verificar (Figura 143), el incremento en los demás niveles observando un comportamiento similar.

6.2.2 Modelo a escala



6.2.3 Modelo 1:1



Figura 145 (A, y B): Modelo del dispositivo a escala 1:1, instalado en el edificio habitacional en los cubos de luz.

El dispositivo lumínico se construyó a escala 1:1 para probarlo en el edificio real (habitacional) en la (Figura 145) se observa de costado el dispositivo el cual fue montado en el muro del pretil del cubo de iluminación y ventilación este dispositivo es de 91 cm x 61 cm en acero inoxidable con acabado en espejo (Figura 146) para garantizar las reflexiones de la luz natural al interior.



Figura 146 (A y B): Dispositivo lumínico de 91cm x 61cm en acero inoxidable en acabado espejo.

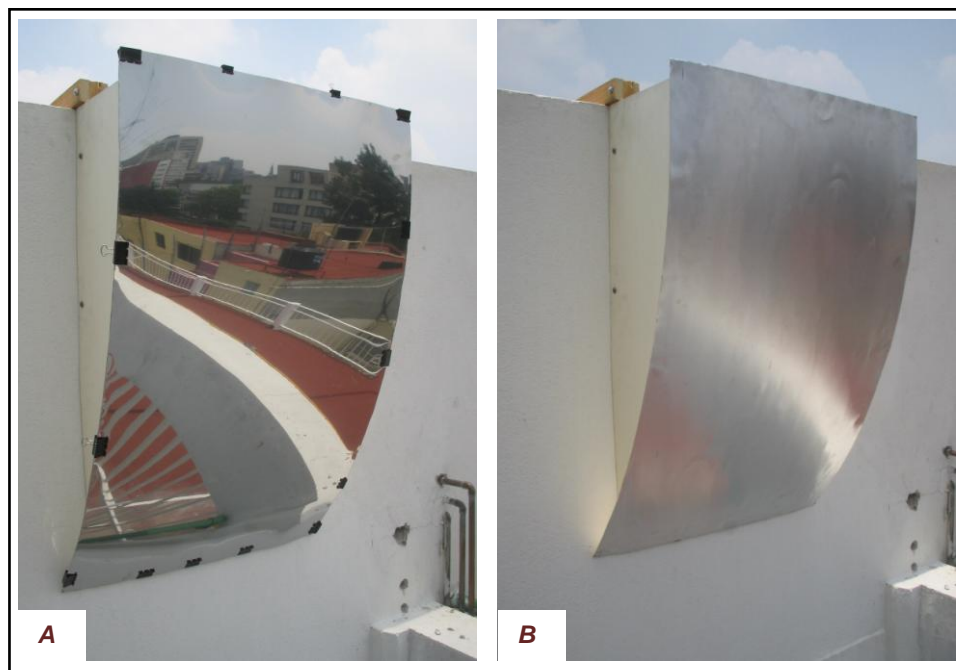


Figura 147: Dispositivo lumínico de 91cm x 61cm en acero inoxidable en acabado espejo.

Figura 148: Dispositivo lumínico de 91cm x 61cm en aluminio en acabado satinado.

Se probó y comparó dos materiales en el dispositivo de la misma dimensión (91x61cm). El primer dispositivo está fabricado en acero inoxidable con acabado en espejo y el segundo dispositivo (Figura 147 y 148), está fabricado con aluminio con acabado satinado

De los dos dispositivos (Figura 149 y 150), el que obtuvo mejores resultados fue de acero inoxidable incrementando los niveles de lux en las habitaciones orientadas a los cubos de iluminación, mientras que el de aluminio no incrementó como se esperaba por la poca reflexión de los rayos del sol. Estos dispositivos se probaron en condiciones de un día nublado, con la finalidad de comprobar con el día más castigado en niveles de lux exterior.

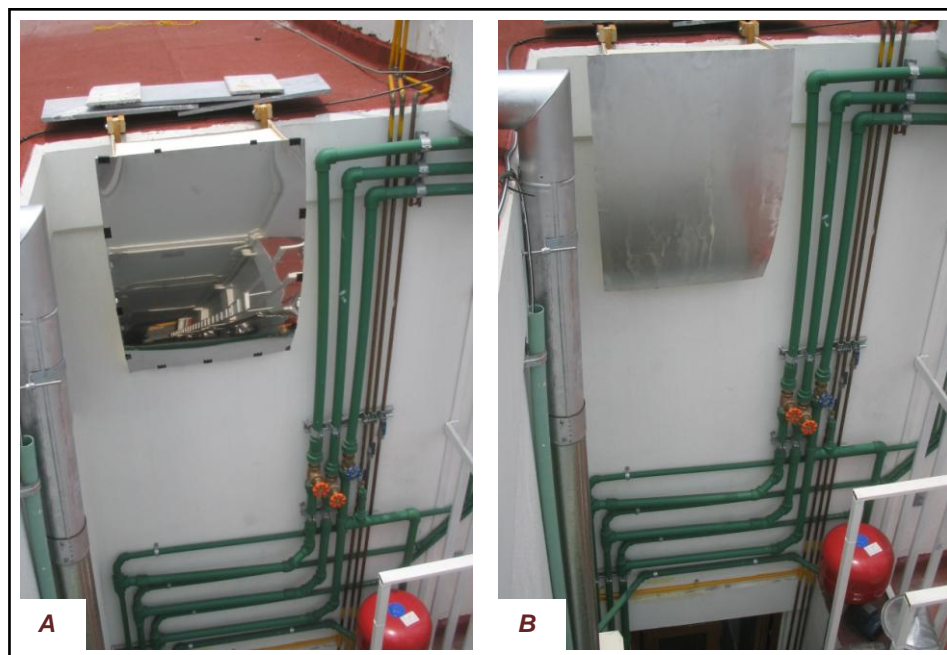


Figura 149: Dispositivo lumínico de 91cm x 61cm en acero inoxidable en acabado espejo.

Figura 150: Dispositivo lumínico de 91cm x 61cm en aluminio en acabado satinado.



Figura 151: Dispositivo lumínico de 91cm x 61cm en acero inoxidable en acabado espejo.

La fotografía (Figura 151) muestra que el dispositivo logra su principal función de reflejar los rayos del sol, puesto que se aprecia notablemente que en su pantalla se ven reflejados los muros del patio junto con el mismo fondo de este lo cual nos indica que se bañan de luz las cuatro cara del patio incrementando los niveles de lux en la habitaciones orientados a estas y se ve beneficiado el patio o sótano porque se incrementa la luz que llega hasta el fondo. Es por esto que se considera que las reflexiones calculadas en los modelos gráficos se comprueban de manera práctica y visual.

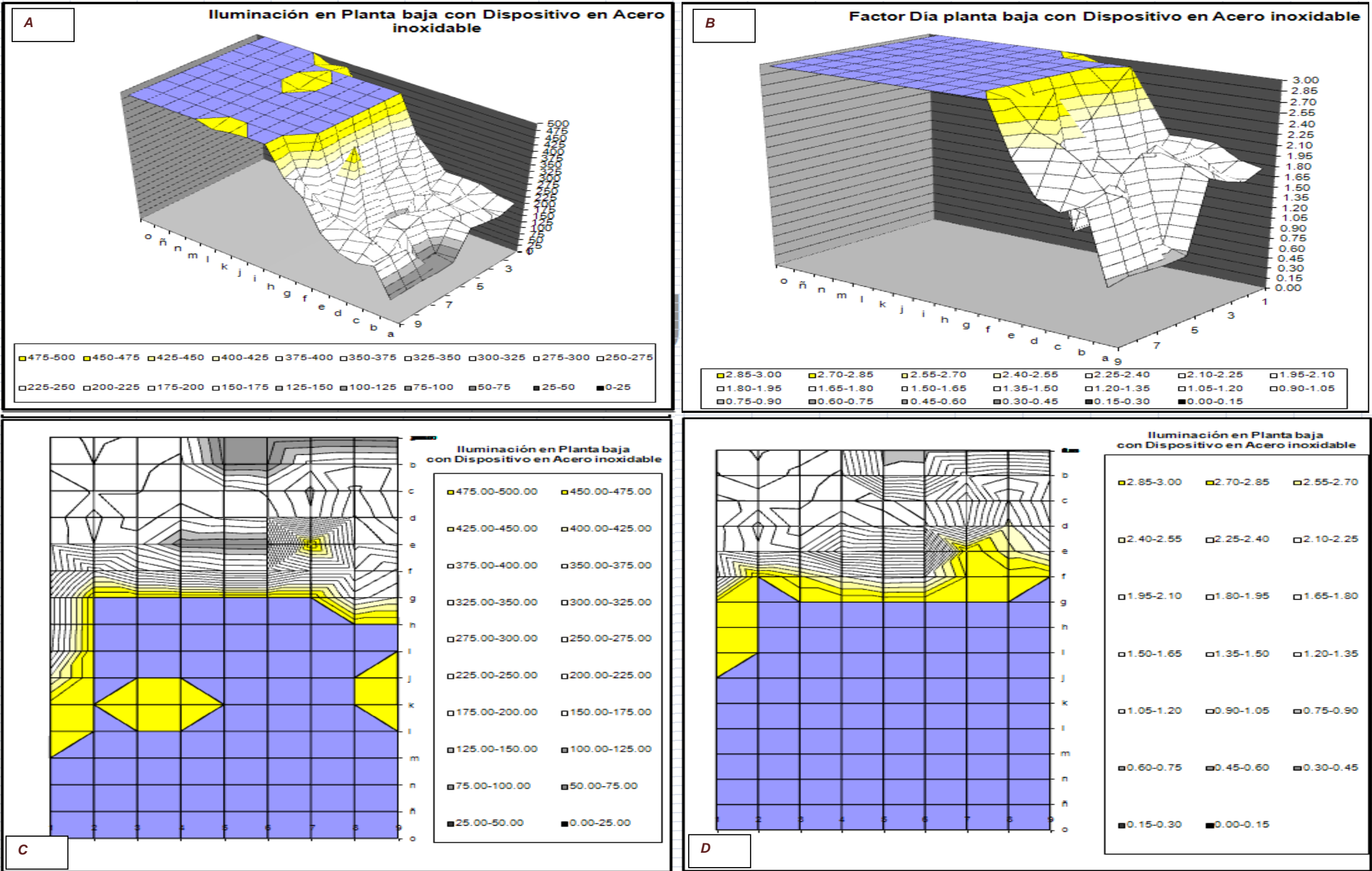
7.- Comprobación del Dispositivo Lumínico

7.1 Edificio Escolar (Secundaria)

LUX en Patio de la planta baja (Dispositivo Satinado "Acero Inoxidable"), (Día Despejado 2 de julio de 2008)																			
Tabla de niveles de LUX en Patio de la planta baja (Día Despejado Modelo a Escala, 2 de junio de 2008)										Factor de Día en Patio de la planta baja (Día Despejado Modelo a Escala, 2 de junio de 2008)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		1	2	3	4	5	6	7	8	9
a	187.6	169.0	178.5	191.0	85.6	82.5	87.7	87.5	85.0	a	1.7	1.6	1.7	1.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
b	195.5	175.0	193.5	206.0	95.9	98.6	185.3	196.5	194.2	b	1.8	1.6	1.8	1.9	0.9	0.9	1.7	1.9	1.8
c	215.5	198.0	198.0	215.6	219.9	195.4	142.5	231.3	178.3	c	2.0	1.9	1.9	2.0	2.1	1.	1.3	2.2	1.6
d	217.5	165.0	215.0	182.0	205.8	215.3	154.5	252.3	193.3	d	2.0	1.5	2.0	1.7	2.0	2.1	1.4	2.4	1.8
e	216.5	175.0	185.0	108.8	104.3	101.5	505.3	266.5	243.3	e	2.0	1.6	1.7	1.0	1.0	1.0	4.8	2.6	2.2
f	200.0	371.0	285.0	251.0	224.3	223.3	300.3	301.3	355.0	f	1.8	3.5	2.7	2.4	2.1	2.2	2.8	2.9	3.3
g	305.0	850.0	3950.0	2596.5	4125.3	2226.9	3620.3	362.3	400.0	g	2.8	8.0	35.6	24.9	38.8	21.2	34.2	3.6	3.9
h	305.0	595.0	4852.0	6003.0	5475.9	3585.6	2931.2	655.3	525.0	h	2.8	5.6	43.8	57.6	51.5	34.2	27.7	6.5	5.1
i	315.0	869.0	702.3	745.0	645.8	745.3	745.2	701.3	526.0	i	2.9	8.1	6.3	7.1	6.0	7.1	7.0	7.0	5.1
j	402.0	881.0	675.0	699.5	599.3	758.6	742.3	731.3	495.0	j	3.8	8.2	6.1	6.7	5.6	7.2	7.0	7.3	4.8
k	485.0	621.0	498.5	485.6	501.3	502.6	502.3	780.2	485.0	k	4.6	5.9	4.5	4.5	4.7	4.9	4.8	7.4	4.7
l	475.0	785.0	721.5	697.2	978.6	2001.3	1402.3	1200.0	1542.0	l	4.5	7.5	6.5	6.5	9.3	19.7	13.5	11.4	15.0
m	821.0	1250.0	999.8	1425.3	1405.6	2685.6	1685.3	2075.3	2425.0	m	7.9	11.9	9.1	13.3	13.4	26.4	16.2	19.7	23.7
n	856.0	2180.0	1694.6	3796.8	2385.6	3625.6	3320.3	3276.0	3220.0	n	8.2	20.8	15.4	35.6	22.7	35.6	32.0	31.1	31.4
ñ	2234.0	2569.0	3911.0	5832.0	5002.5	5542.3	4930.3	3602.0	3275.0	ñ	21.5	24.5	35.5	54.7	47.7	54.5	47.5	34.2	32.0
o	3334.0	3853.0	5730.0	7240.0	7258.0	6485.6	5952.0	6329.0	4995.0	o	30.7	35.7	55.1	69.4	69.9	63.4	59.2	60.1	48.7

Tabla 13: LUX en Patio de la planta baja (Dispositivo Satinado "Acero Inoxidable"), (Día Despejado 2 de julio de 2008).

Se probó el dispositivo fabricado en acero inoxidable en acabado en espejo (especular) su dimensiones son 91 x 61 cm. Los niveles de iluminación registrados con el dispositivo marcan un incremento contra el modelo real lo cual nos confirma la funcionalidad del dispositivo. Se presentó en particular este nivel por ser el más castigado o el menos iluminado con luz natural, en la (Tabla 13) se observa un área con color amarillo lo que nos indica que se sobre paso el nivel de requerido según el reglamento de construcción, el área en color blanco nos indica zonas donde se logró niveles de confort lumínico y sólo se presenta alguno puntos por debajo del nivel de confort, sin embargo, estos puntos bajos se presentan por la ubicación de las columnas del sistema estructural del edificio y por esta columna se produce una sombra u obstrucción del paso de la luz natural reflejada por el plafón desde el patio central (caso de estudio).



Las gráficas muestran un incremento notable en los niveles de lux y de igual manera se calculó el factor día de cada medición o punto levantado de la retícula propuesta en el inicio y lo cual nos muestra un incremento y uniformidad de los niveles de lux o el porcentaje de los niveles de lux en el exterior con relación de los niveles registrados en el interior, como se muestran en las (Figuras: A, B, C y D del numeral 152).

Figura 152 (A, B, C y D): Gráficas de los niveles de iluminación y el factor día en el modelo a escala con el dispositivo en acero inoxidable acabado en espejo (especular).

Comparación del Modelo real contra el Modelo a escala con el Dispositivo en Acero Inoxidable con acabado en espejo																			
Factor de Día en Patio de la planta baja (Día Despejado Modelo a Escala, 2 de junio de 2008)										Factor de Día en Patio de la planta baja (Día Despejado Edificio Real, 6 de febrero de 2008)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		1	2	3	4	5	6	7	8	9
a	1.74	1.63	1.71	1.84	0.84	0.82	0.83	0.85	0.80	a	1.21	1.14	0.79	0.79	0.34	0.26	0.30	0.32	0.36
b	1.81	1.68	1.86	1.98	0.94	0.98	1.76	1.92	1.82	b	1.68	1.23	0.86	0.71	0.48	0.55	0.65	0.83	0.75
c	2.00	1.91	1.90	2.08	2.15	1.95	1.35	2.26	1.67	c	1.38	1.03	1.00	1.15	0.66	0.93	0.64	1.17	1.29
d	2.02	1.59	2.06	1.75	2.01	2.14	1.47	2.46	1.82	d	1.24	1.26	0.75	1.16	0.73	1.02	0.77	1.39	1.01
e	2.01	1.68	1.77	1.05	1.02	1.01	4.80	2.60	2.28	e	1.27	0.82	0.61	0.57	0.49	0.59	0.60	0.88	0.85
f	1.85	3.57	2.73	2.42	2.19	2.22	2.85	2.94	3.33	f	0.63	0.76	0.87	0.95	0.76	0.93	0.89	0.82	0.61
g	2.89	8.00	35.68	24.92	38.81	21.25	34.28	3.64	3.90	g	0.71	0.62	7.60	5.75	16.05	13.13	10.28	1.16	1.06
h	2.89	5.60	43.83	57.61	51.51	34.21	27.76	6.59	5.12	h	1.25	1.62	13.35	16.63	17.52	15.58	6.43	2.99	1.49
i	2.98	8.17	6.34	7.15	6.08	7.11	7.06	7.05	5.13	i	1.02	1.42	4.32	17.07	18.10	16.73	11.86	2.05	1.04
j	3.81	8.29	6.10	6.71	5.64	7.24	7.03	7.35	4.82	j	1.40	1.62	12.42	16.40	17.50	15.93	11.98	2.66	1.07
k	4.68	5.93	4.54	4.56	4.79	4.95	4.85	7.42	4.74	k	1.10	1.43	10.94	4.50	15.41	12.14	12.57	1.90	1.64
l	4.58	7.50	6.57	6.55	9.35	19.70	13.54	11.41	15.07	l	2.98	2.74	3.75	4.31	5.06	4.91	4.42	3.14	2.46
m	7.92	11.94	9.10	13.38	13.43	26.43	16.27	19.73	23.70	m	2.61	1.71	1.90	2.46	2.21	3.03	4.15	3.11	2.44
n	8.26	20.82	15.42	35.65	22.79	35.69	32.05	31.14	31.48	n	4.19	5.24	5.37	6.52	5.17	6.94	6.73	6.89	3.53
ñ	21.56	24.54	35.59	54.76	47.78	54.55	47.59	34.24	32.01	ñ	6.71	6.66	7.97	9.70	9.68	11.76	11.80	12.69	10.85
o	30.78	35.71	55.15	69.42	69.92	63.46	59.28	60.16	48.78	o	14.93	15.70	18.65	16.72	17.47	20.94	23.22	24.79	22.79

Tabla 14: Comparación del Modelo real Contra el Modelo a escala con el Dispositivo en Acero Inoxidable.

Como se muestra en la comparación de las dos Tablas del cálculo del factor día del edificio escolar en la planta baja con la condición de cielo despejado. La Tabla de la izquierda es el modelo a escala con el dispositivo y la derecha el modelo real sin dispositivo. En la comparación se muestra definitivamente un incremento en la cantidad de lux del interior con respecto a la del exterior, dicho incremento es causado por la instalación del dispositivo especular¹², el cual, en el eje “a” su comportamiento es mínimo mientras que en el eje “o” se observa un incremento aproximado del 100% el dicho incremento se va registrando paulatinamente durante los 16 ejes del “a-o” (tabla 14).

La comparación de los dos modelos define la viabilidad del proyecto el cual es de dos dispositivos especulares en cada caso de estudio el edificio escolar y el edificio habitacional.

¹² La reflexión especular es la reflexión de la luz de una superficie donde la reflexión incidente se refleja.

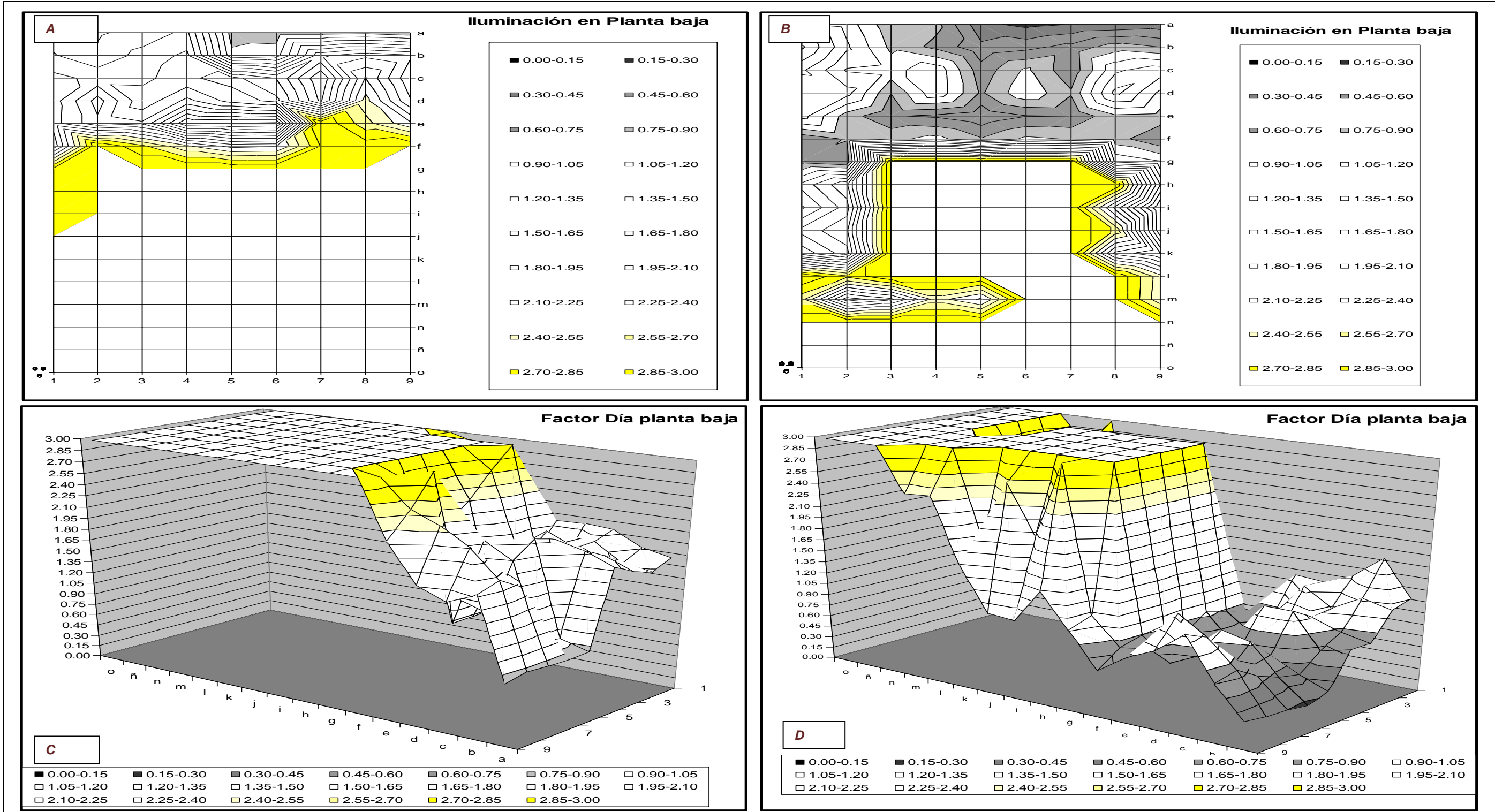


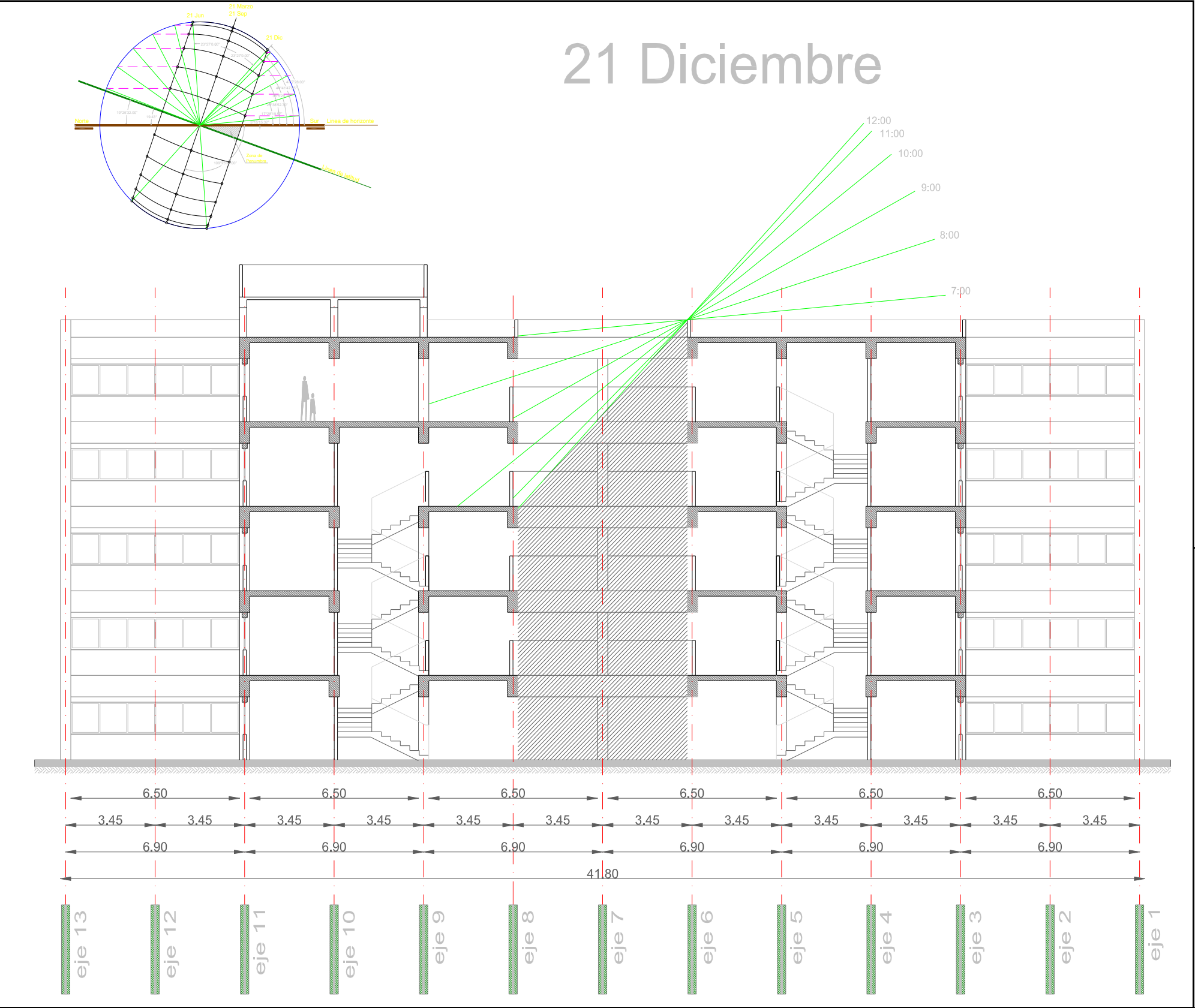
Figura 153 (A, B, C y D): Comparación del Modelo real Contra el Modelo a escala con el Dispositivo en Acero Inoxidable en acabado espejo (especular) de 91 cm x 61 cm.

A.- Gráfica del factor día en planta baja modelo a escala con el dispositivo en acero inoxidable.

B.- Gráfica de factor día en planta baja modelo real sin el dispositivo.

C.- Gráfica de factor día en 3ds de la planta baja modelo a escala con el dispositivo en acero inoxidable.

D.- Gráfica de factor día en 3ds de la planta baja modelo real sin el dispositivo.



7.2 Trazo geométrico

7.2.1 Edificio Escolar (Secundaria)

En el corte longitudinal (Figura 154) del edificio escolar (secundaria) se trazó el recorrido solar y se dibujaron como líneas los rayos solares estas líneas representan diferentes horas del día empezando a las 7:00 horas hasta las 12:00 horas de la fecha del 21 de diciembre siendo este el mes más castigado por la posición del sol, la cual es de menor incidencia y de menor penetración de luz natural por el patio. En el corte se represento el área sombreada la cual es el 75% de los muros o caras del patio a tratar. Y solo siendo las 12:00 horas es cuando mayor incidencia solar se presenta y es por lo que en los pasillos de circulación del patio están constantemente encendidas las lámparas.

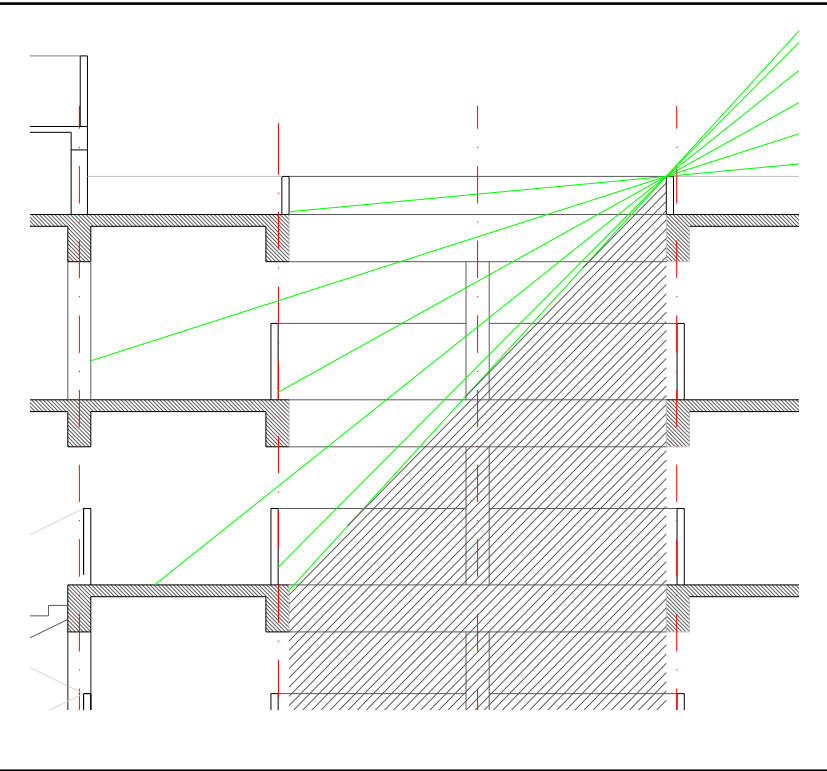


Figura 154: Corte longitudinal del edificio escolar con el trazo de los rayos solares del mes de diciembre.

Edificio Escolar (Secundaria)

El corte anterior muestra las condiciones sin el dispositivo de iluminación de alta eficiencia y en este corte longitudinal (Figura 155) del edificio escolar se instaló el dispositivo de 91 cm x 60 cm en acero inoxidable en acabado en espejo, lo cual se representó la forma geométrica u óptica del comportamiento de los rayos solares los cuales fueron reflejados por el dispositivo especular y se transmiten al fondo y a los muros o caras del patio.

Con este dispositivo se logro tener un aumento en los niveles de iluminación y se comprueba el efecto de reflexión con las leyes ópticas aplicables al sistema propuesto, por lo tanto, siendo el mes de diciembre el más desfavorable se trazó en diferentes fechas para verificar el comportamiento óptico del dispositivo.

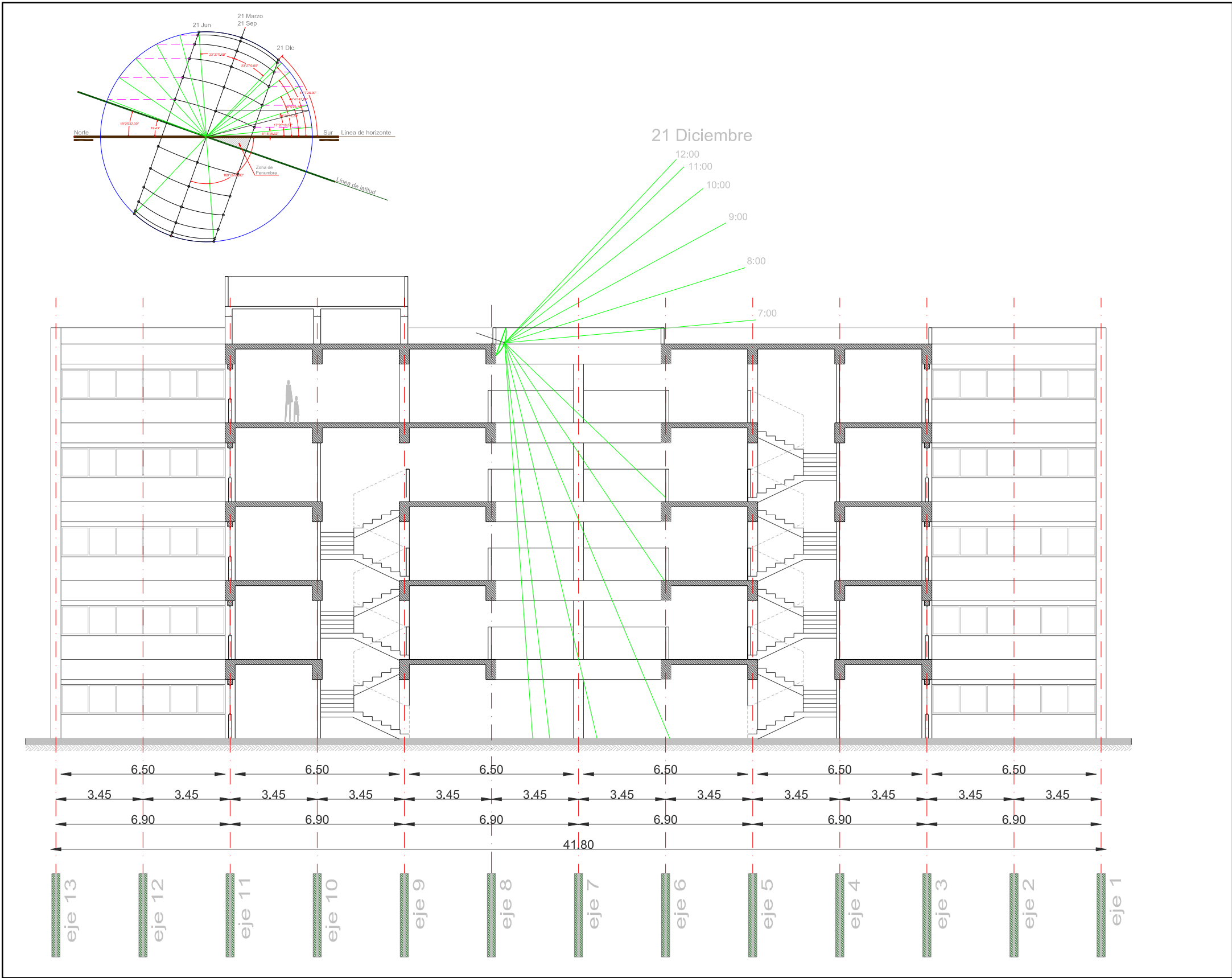
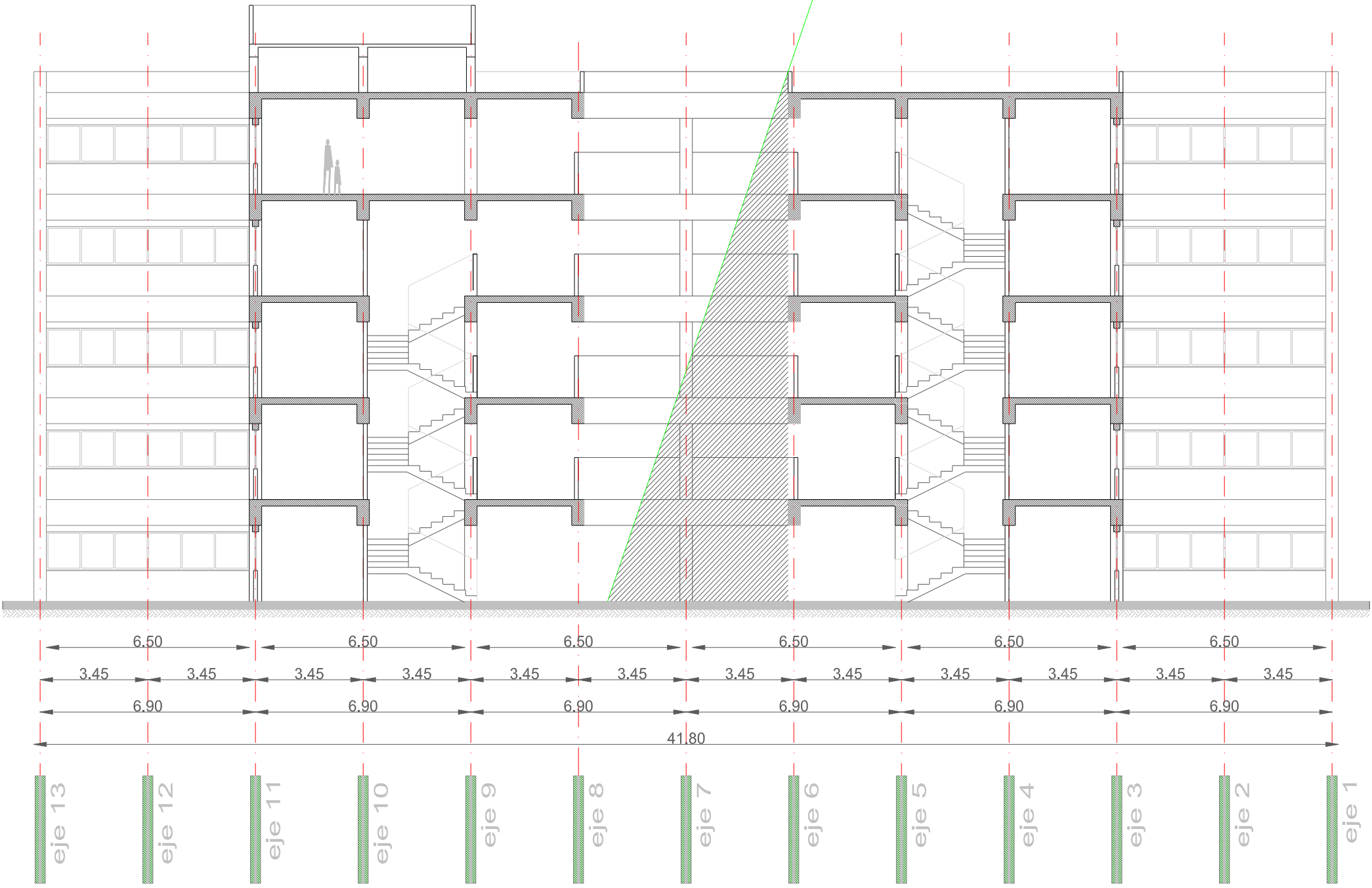


Figura 155: Corte longitudinal del edificio escolar con el trazo de los rayos solares y la reflexión de los mismos por el dispositivo de acero inoxidable en el mes de diciembre.

21 Marzo
21 Septiembre

12:00

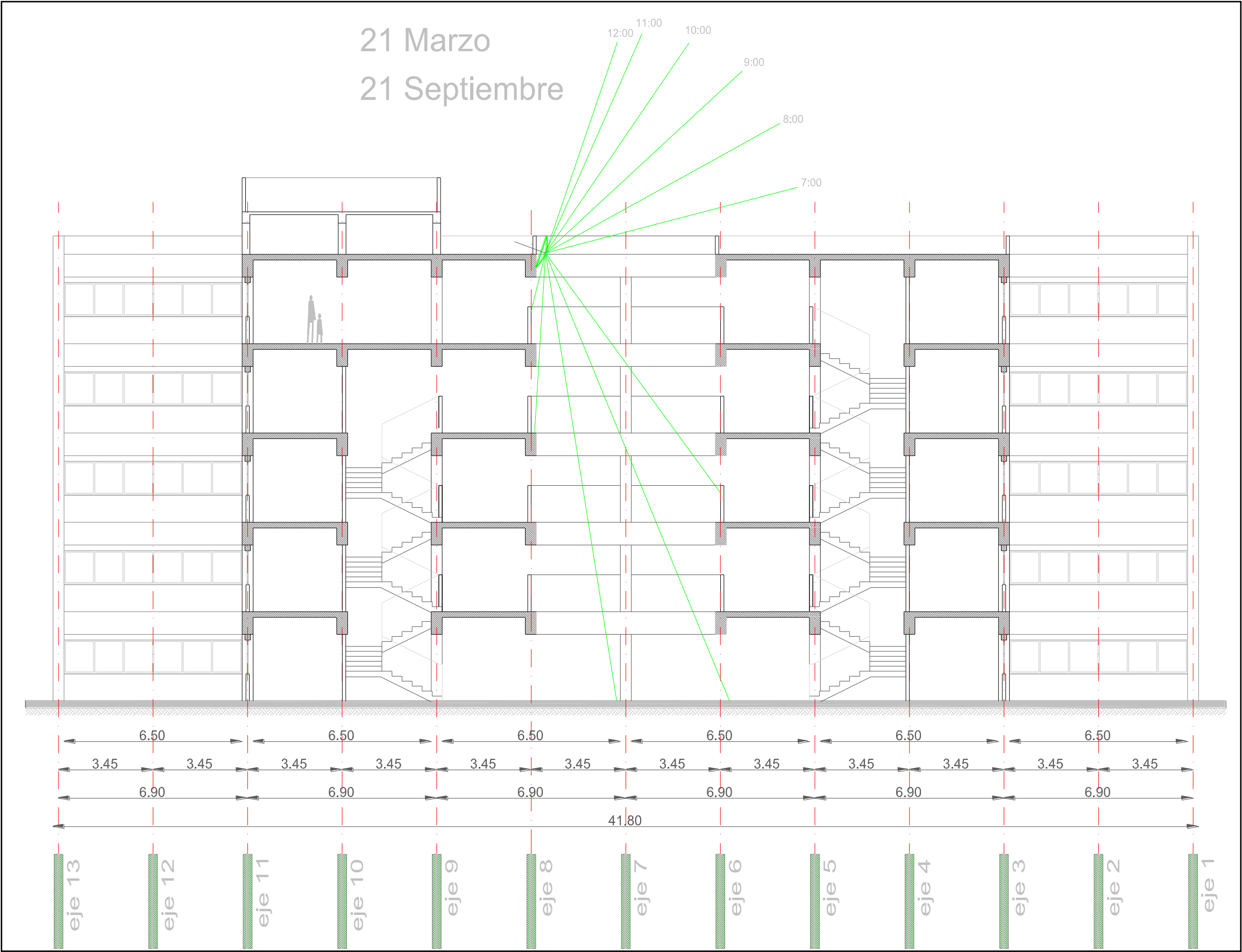


Edificio Escolar (Secundaria)

Para los meses de marzo y de septiembre el comportamiento del recorrido solar son similares por lo que se concluye que solo un 40% de las caras y el fondo del patio se encuentran en sombra, lo cual desfavorece el nivel de confort lumínico de los espacios orientados al patio (Figura 156) como circulaciones en cada nivel, aulas, talleres laboratorios y en particular los espacios orientados a los muros sombreados del patio.

Con el dispositivo instalado en la parte del pretil se proyectan los rayos solares gracias al efecto de la reflexión, dichos rayos reflejados a los muros y el fondo del patio incrementando los niveles de lux.

Figura 156: Corte del edificio escolar en el mes de Marzo-Septiembre sin el dispositivo de acero inoxidable.



Edificio Escolar (Secundaria)

Para los solsticios de marzo y septiembre donde la duración del día es igual a la de la noche se presenta una reflexión de los rayos solares de acuerdo a la monea trazada, las líneas representadas en color verde simulan la línea que forma un rayo solar a diferentes horas con la finalidad de observar que el principio de reflexión se cumple para iluminar o bañar de luz natural los muros o las caras del patio.

Como se puede observar la reflexión de los rayos no solo se proyecta en los muros frontales al dispositivo si no también en la parte inferior o el piso del patio (figura 157).

Figura 157: Corte del edificio habitacional en el mes de marzo y septiembre con el dispositivo.

7.2.2 Edificio Habitacional

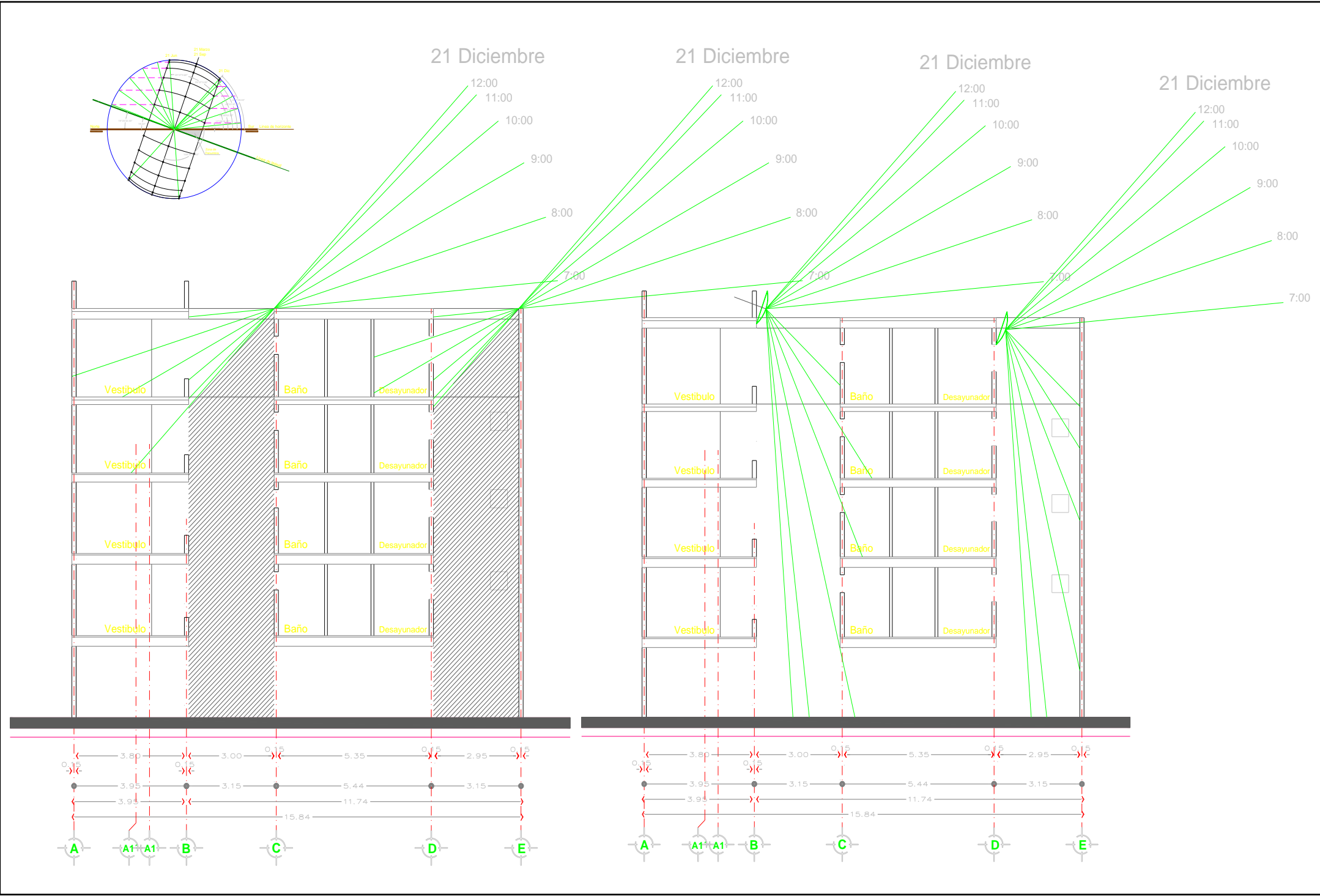
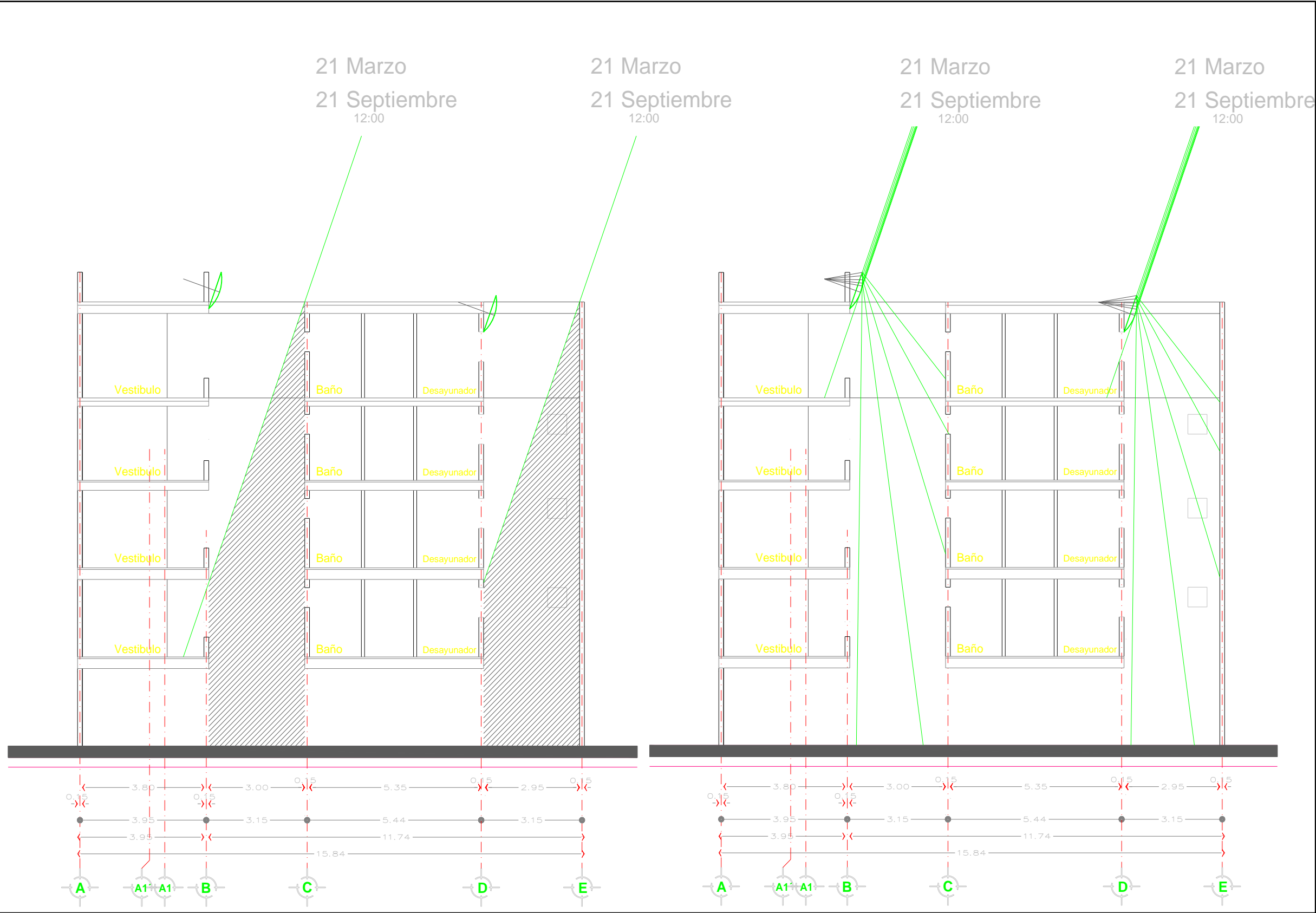


Figura 158: Diseño industrial del dispositivo de manera preliminar, en acero inoxidable en acabado pulido o espejo (especular) de 36"x24" ó 91.44 cm x 60.9 cm.

En el caso del edificio habitacional los dos cubos de iluminación en el mes de diciembre (Figura 158) presenta mayores áreas de penumbra o sombreado debido a la esbeltez de los cubos y la altitud de los rayos solares que en este periodo son muy bajos o menos inclinados que el resto del año, es por lo que en la comprobación de la geometría solar se tomo la condición más desfavorable el cual es este mes (diciembre), como se muestra en el corte transversal del edificio se observa con claridad que solo el ultimo nivel se ve beneficiado por la iluminación natural mientras que los niveles inferiores carecen de la penetración de luz a un siendo las 12:00 horas no es suficiente para cubrir los niveles de confort lumínico.

Una vez instalado el dispositivo de acero inoxidable en los pretils de los cubos de iluminación del edificio habitacional se logra incrementar los niveles de lux en las habitaciones orientados al patio como se observa en el corte transversal (Figura 155), del edificio los rayos son reflejados bañando los cuatro muros y el fondo del patio, el trazo de la geometría solar inicia a las 7:00 horas hasta las 12:00 horas y siendo la misma inclinación para las siguientes horas. Los rayos reflejados se calcularon de acuerdo con las leyes de reflexión y óptica. La comparación de los modelos real contra el modelo a escala con el sistema propuesto se observa una mejoría en el confort lumínico de los usuarios.

7.2.2 Edificio Habitacional



El corte transversal (Figura 159) superior es la representación de la geometría solar en los meses de marzo y septiembre fecha donde el comportamiento o ángulo horizontal y azimut o altitud de los rayos solares son iguales y se observa una penumbra en el nivel del sótano y en la planta baja, sin embargo como se ve en la corte inferior se ven reflejados los rayos solares en diferentes horas para determinar que el dispositivo propuesto funciona en diversas fechas y horas diurnas por lo que la comparación del modelo real contra el modelo a escala se ve reflejado el incremento del nivel de lux gracias al dispositivo.

Figura 159: Edificio habitacional en el solsticio de marzo y septiembre sin y con el dispositivo

8.- Diseño del Dispositivo de Iluminación

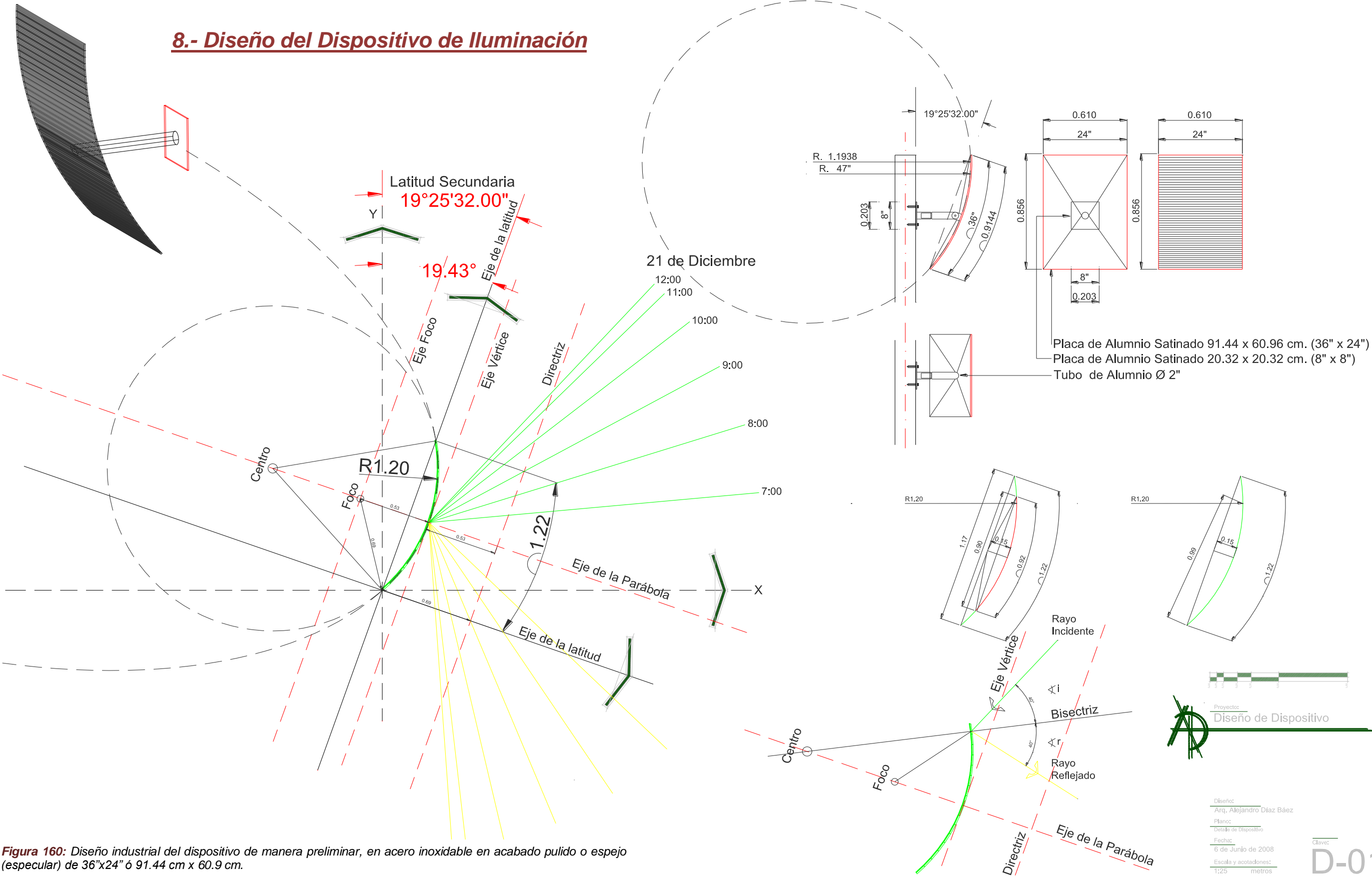
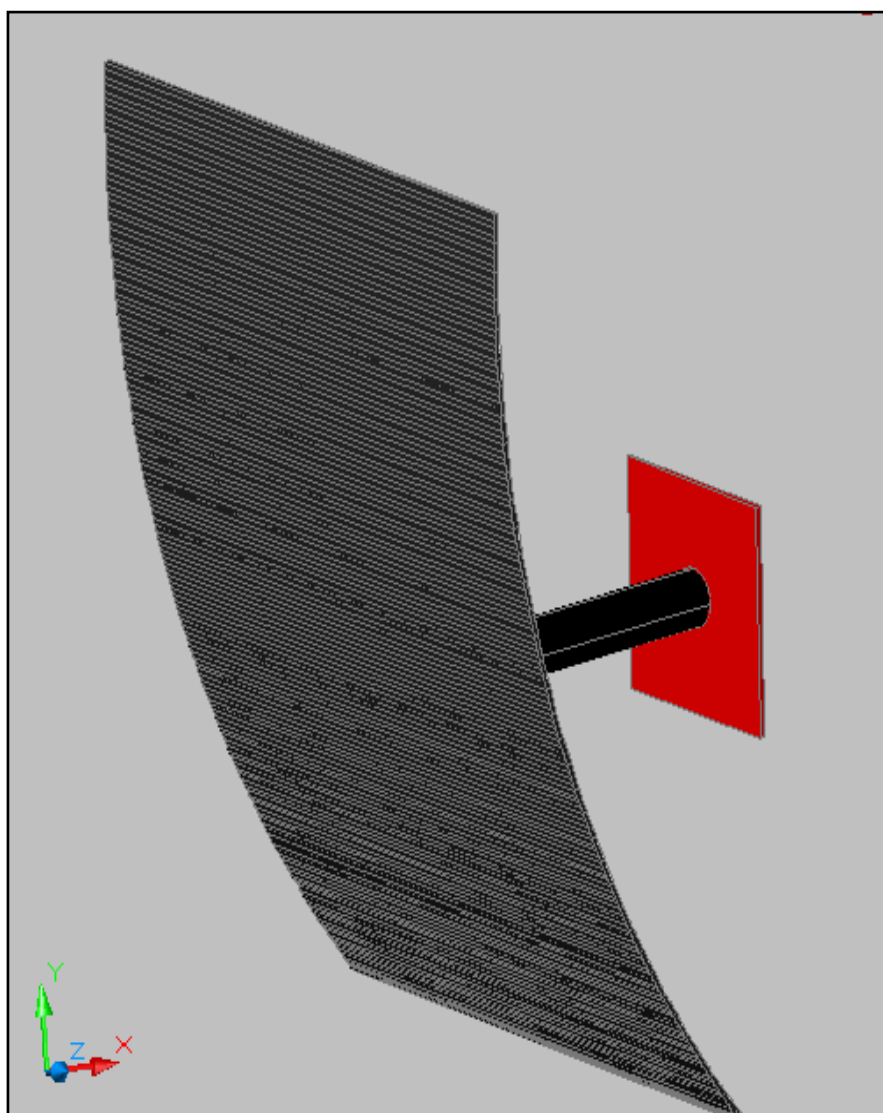


Figura 160: Diseño industrial del dispositivo de manera preliminar, en acero inoxidable en acabado pulido o espejo (especular) de 36"x24" ó 91.44 cm x 60.9 cm.

8.1 Planos de taller

El proyecto de diseño industrial solo es un planteamiento previo o un prototipo base; la idea principal es probar el dispositivo, comprobar la curva y el incremento de los niveles de lux gracias a este dispositivo y una vez validada la idea primaria posteriormente se diseñará de manera industrial. Se pensó en el diseño preliminar utilizar elementos estandarizados como la lamina de 91.44 cm de ancho ó 36 pulgadas y de ancho 60.9 cm ó 24 pulgadas, con el fin de abatir los costos de producción (Figura 160).



La idea básica del dispositivo (Figura 154) es una pantalla simplemente sujeta por una estructura al muro del pretil dicha estructura se contempla de tubo de acero inoxidable con un sistema giratorio en la conexión con la pantalla para ajustes de latitudes diferentes a la del caso de estudio la cual fue de $19^{\circ} 25'$ con el fin de que se ajuste a las latitudes donde se requiera o sean en casos particulares y un sistema de macho y hembra para ajustar de derecha a izquierda sin alterar la inclinación de la latitud y con el fin de realizar ajustes cuando el caso lo requiera (Figura 161).

Figura 161: Diseño industrial del dispositivo en 3ds.

8.2 Detalles constructivos

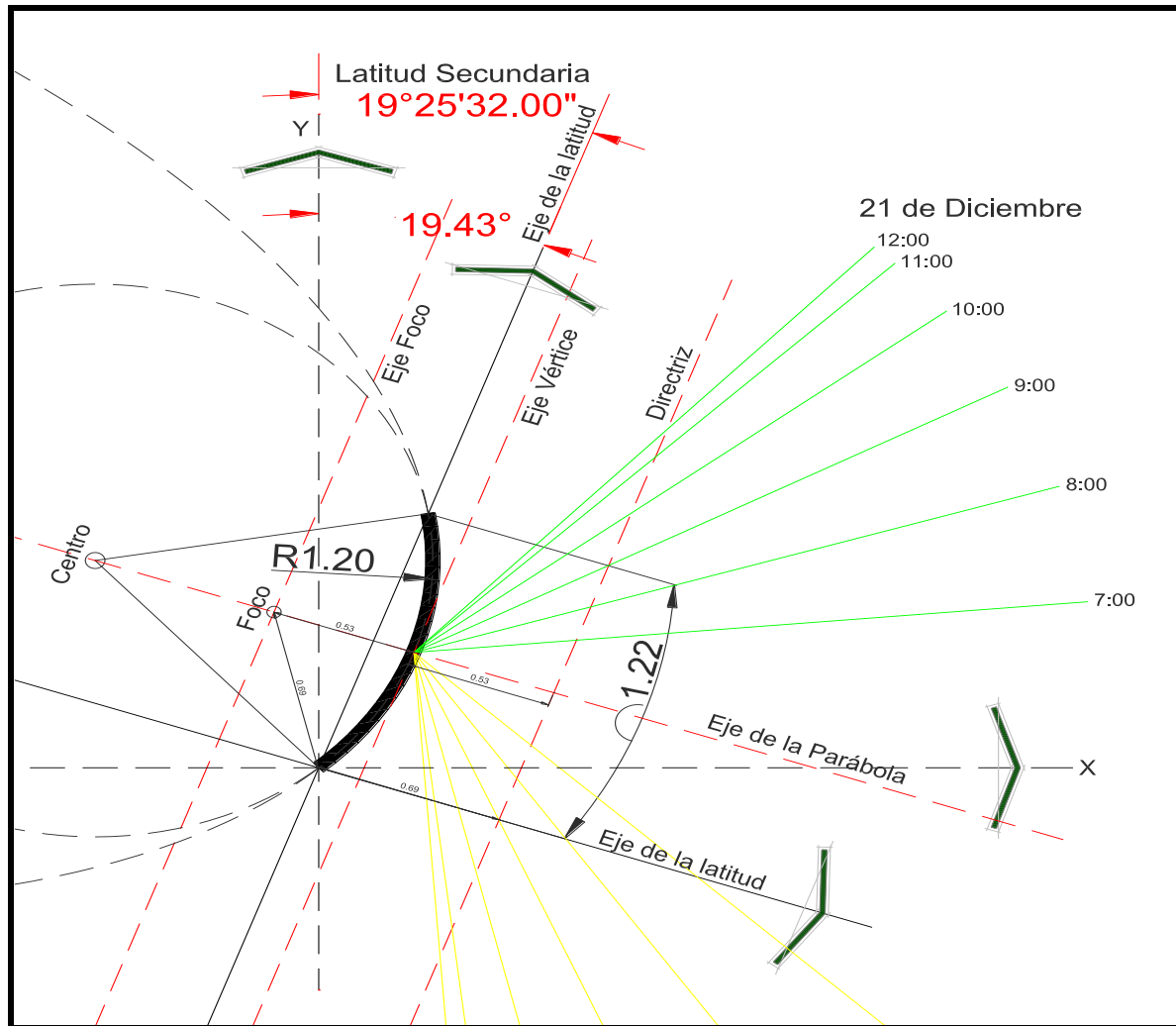


Figura 162: Detalle de la curva de la parábola.

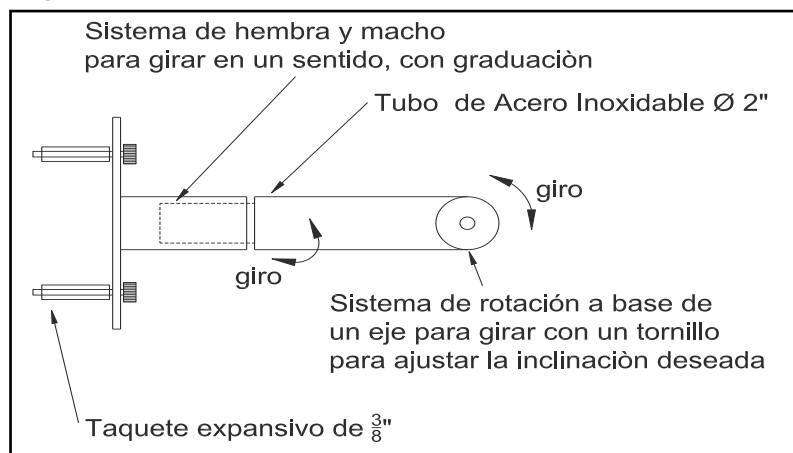


Figura 163: Detalle de sujeción y sistemas de ajuste.

Se trazó la curva con una inclinación de 19°25' del centro del patio del caso de estudio (Figura 162).

Sistema de Sujeción de estructura y sistemas de ajustes, (Figura 163).

9.- Evaluación del costo-beneficio

9.1 Gasto energético

En el gasto energético de las edificaciones no solo se debe considerar lo consumido por la demanda de los equipos conectados y la iluminación eléctrica. El gasto energético total de una edificación va desde la creación o fabricación de los materiales de construcción, es decir, si construimos nuestras edificaciones con materiales endémicos de la región donde se encuentre el proyecto será más económico financieramente y energéticamente por el ahorro en transformar materias primas en materiales y de trasladarlos a los sitios de construcción. Estos procesos mitigan el consumo de energía en el proceso de construcción y si se agrega el diseño del proyecto conceptos bioclimáticos y ecotecnias, la edificación va teniendo un ahorro significativo y si se instalaran sistemas de iluminación de alta eficiencia con el aprovechamiento al máximo de la luz natural las edificaciones obtendrían un menor consumo energético lo cual impactaría en la disminución de gases con efecto invernadero en la atmósfera.

El consumo energético se abatirá solo con sistemas de aprovechamiento de energías renovables o sustentables, es por eso que el dispositivo de iluminación natural ofrece una solución al consumo energético de los edificios de caso de estudio y no solo para estos dos casos. La idea fundamental del sistema será la aplicación o instalación del dispositivo en construcciones nuevas o existentes



Figura 164: Modelo en 3ds del dispositivo.

con patios o casos similares a los estudiados y otra ventaja del dispositivo es la versatilidad de instalarse en diferentes latitudes y no solo para casos de la ciudad de México o la latitud de los casos de estudio.

Para abatir el costo del dispositivo solo la pantalla será con acabado en espejo (especular) con acero inoxidable (Figura 164), y acero al carbón el sistema de fijación.

9.2 Costos del Prototipo (Catálogo de Conceptos)



PAILERÍA Y SOLDADURA ESPECIALIZADA, SA DE CV
ESTRUCTURA, TUBERÍA, MONTAJE Y MANTENIMIENTO

En atención a su amable solicitud presentamos a su consideración la siguiente cotización:

PART.	CONCEPTO	CANT	UNI	P. UNIT
1.-	FABRICACION DE DISPOSITIVO PARA ILUMINACION , a base de placa 1/8" en acero inox . Según dibujo proporcionado D-01. Incluye acabado ultrabrillante.	1	Pza.	\$ 7,137.55
2.-	FABRICACION DE DISPOSITIVO PARA ILUMINACION , a base de placa 1/8" en aluminio , con adaptación de lamina de inox Cal-26, con un acabado ultrabrillante. Según dibujo proporcionado D-01.	1	Pza.	\$ 5,730.70
3.-	FABRICACION DE DISPOSITIVO PARA ILUMINACION , a base de placa 1/8" en acero al carbón , con adaptación de lamina de inox Cal-26, con un acabado ultrabrillante. Incluye acabado en primario y esmalte color al gusto en estructura. Según dibujo proporcionado D-01.	1	Pza.	\$ 4,135.36

NOTAS

* No incluye transporte ni colocación.

Tiempo de Entrega:
De 3 a 5 días, por cada dispositivo.

Forma de Pago:
65% Anticipo
35% Contra-Entrega
Esta cotización no incluye Impuesto al Valor Agregado.

Vigencia:
Quince días naturales.

Agradeciendo su invitación a cotizar este trabajo, me despido quedando a sus órdenes para cualquier aclaración o duda al respecto.

Atentamente
Sr. Roberto Treviño Valdespino
Operaciones
55 5467 9051

Tabla 15: Presupuesto del dispositivo.

Se cotizó (tabla 15) el prototipo del dispositivo en tres opciones la primera en fabricación en acero inoxidable y la pantalla de placa de 1/8", la segunda opción se planteó en aluminio con lámina calibre 26 en acero inoxidable como pantalla y la tercera y más económica de las alternativas es la de acero al carbón como estructura y lámina calibre 26 en acero inoxidable como pantalla.

Por los precios unitarios de las tres opciones se seleccionó la primera alternativa en acero inoxidable al 100% con placa de 1/8" (tabla 16).

Matriz del precio unitario

ANEXO 1					REV 01
FABRICACION DE DISPOSITIVO PARA ILUMINACION, a base de placa 1/8" en acero inox. Según dibujo proporcionado D-01. Incluye acabado ultrabrillante.					
PRESUPUESTO DESGLOSADO					
CLAVE	MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	IMPORTE
1	PLACA ACERO INOX 1/8" ESP. (36" X 24")	KG	15.32	\$ 79.00	\$ 1,210.28
2	PLACA ACERO INOX 1/8" ESP. (8" X 8")	KG	1.00	\$ 79.00	\$ 79.00
3	TUBO ACERO INOX 2" DIAM	KG	4.00	\$ 79.00	\$ 316.00
4	ADAPTADOR HEMBRA-MACHO P/ GIRAR, C/ TORNILLO Y TUERCA P/ FIJAR, CON GRADUACION.	PZA	1.00	\$ 280.00	\$ 280.00
5	ADAPTADOR DE ROTACION, C/ TORNILLO Y TUERCA P/ FIJAR.	PZA	1.00	\$ 280.00	\$ 280.00
6	SOLDADURA DE INOX 1/8" 304	KG	1.00	\$ 120.00	\$ 120.00
7	GAS ARGON	CARGA	0.30	\$ 1,300.00	\$ 390.00
8	DISCO DE DESVASTE	PZA	0.30	\$ 180.00	\$ 54.00
9	CEPILLO DE ALAMBRE	PZA	0.30	\$ 170.00	\$ 51.00
10	LIMPIADOR	L	1.00	\$ 90.00	\$ 90.00
11	FIBRA	PZA	1.00	\$ 18.00	\$ 18.00
SUBTOTAL 1					\$ 2,888.28
C-6	CUADRILLA DE PAILERO-ARGONERO (1 OFICIAL + 1 AYUDANTE + 1/10 CABO)	JOR	2.0	\$ 1,208.00	\$ 2,416.00
SUBTOTAL 2					\$ 2,416.00
CLAVE	EQUIPO Y HERRAMIENTA	UNI	CANT	P. UNITARIO	IMPORTE
H-1	EQUIPO Y HERRAMIENTA.	%	10	\$ 2,416.00	\$ 241.60
SUBTOTAL 3					\$ 241.60
COSTO DIRECTO (SUMA DE LOS 3 SUBTOTALES= A =					5,545.88
B = INDIRECTO INTEGRADO (INDIRECTOS) =					17% 942.80
					\$ 6,488.68
C = INDIRECTO INTEGRADO (UTILIDAD) =					10% \$ 648.87
A + B + C = PRECIO UNITARIO =					\$ 7,137.55

Tabla 16: Matriz o explosión de insumos del Precio Unitario.

Los datos generales son del caso de estudio del edificio educativo (secundaria) y el análisis de costo es del consumo de energía de la planta baja (tabla 17), la cual está formada de 18 tableros con un equipo de dos lámparas fluorescentes con un consumo de 2x75 watts, con un uso de 12 horas diarias y un gasto de 16200 w por día y un consumo de 4,050 kw al año y un costo del kw de \$1.25 se obtiene un gasto de \$5,062.50 por año.

El equipo propuesto tendrá una vida útil aproximada de 25 años y para el caso de la secundaria se propuso dos equipos por instalar con un costo de \$7137.55 más IVA por unidad dando un costo de \$16,416.37 fabricando solo dos equipos. Pero si el dispositivo se realizara de manera industrial el costo se reduciría a un 30% por la producción en serie, obteniendo un costo de \$11,491.46 por las dos unidades. Por lo tanto el costo por año en ambos casos será de \$656.65 y \$459.66 respectivamente.

El beneficio o aumento en los niveles de lux debido al dispositivo en la planta baja de la secundaria es del 25% con lo cual se alcanza el nivel de confort requerido por el RCDF en un 75% de las horas de trabajo (9 horas) lo cual nos arroja un ahorro de \$3,796.88 al año, por lo que en un plazo de 5 años se vería amortizado el costo del sistema obteniendo un ahorro en el consumo eléctrico.

Datos generales		
Lámparas	Consumo en W	Consumo por hora W
18	75 W	1350 W
Horas de uso	Consumo diario	Días de consumo
12	16200 W	250
Consumo en un año	Consumo en Kilowatt	Costo por Kilowatt
4050000 W	4050 Kw	\$1.25
Costo por año	Vida aproximada del dispositivo	Costo por 25 años
\$5,062.50	25	\$126,562.50
Costo de dos dispositivos		
Costo por dispositivo	Núm. de equipos	Costo de los equipos
\$7,137.55	2	\$14,275.10
IVA	Costo de venta	Costo por año
\$2,141.27	\$16,416.37	\$656.65
Costo dispositivo fabricado en serie		
Costo por dispositivo	Núm. de equipos	Costo de los equipos
\$4,996.29	2	\$9,992.57
IVA	Costo de venta	Costo por año
\$1,498.89	\$11,491.46	\$459.66

Tabla 17: Análisis de datos generales.

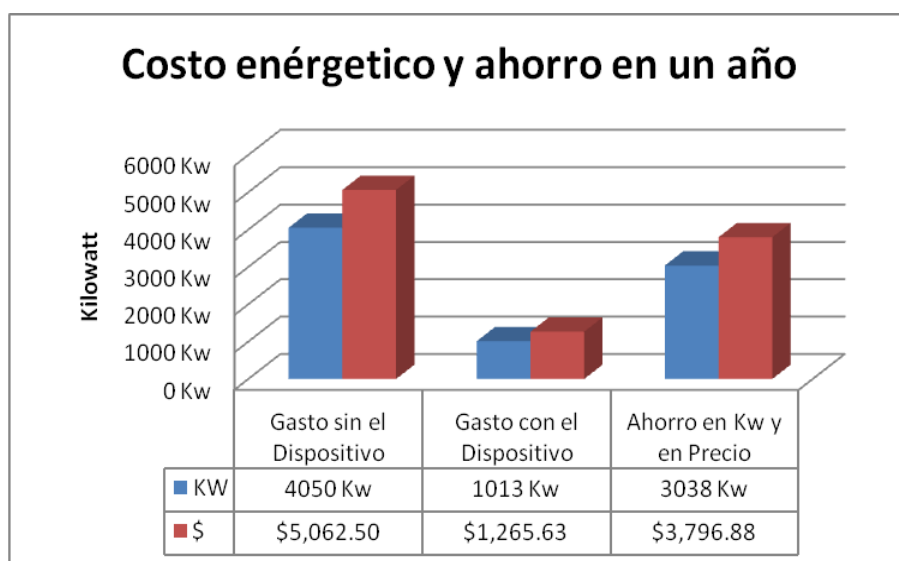


Figura 165: Consumo de energía en kw y ahorro económico.

El consumo de energía en un año para el alumbrado de la planta baja del edificio educativo es de 4,050 kw con un costo de \$5,062.50 pesos, pero una vez instalado el sistema con dos dispositivos se abate el consumo y solo se gasta 1,013 kw por año con un gasto de \$1,265.63 por lo tanto el ahorro de energía es de 3,038 kw y obteniendo un ahorro de \$3,796.88 pesos por año, (figura 165).

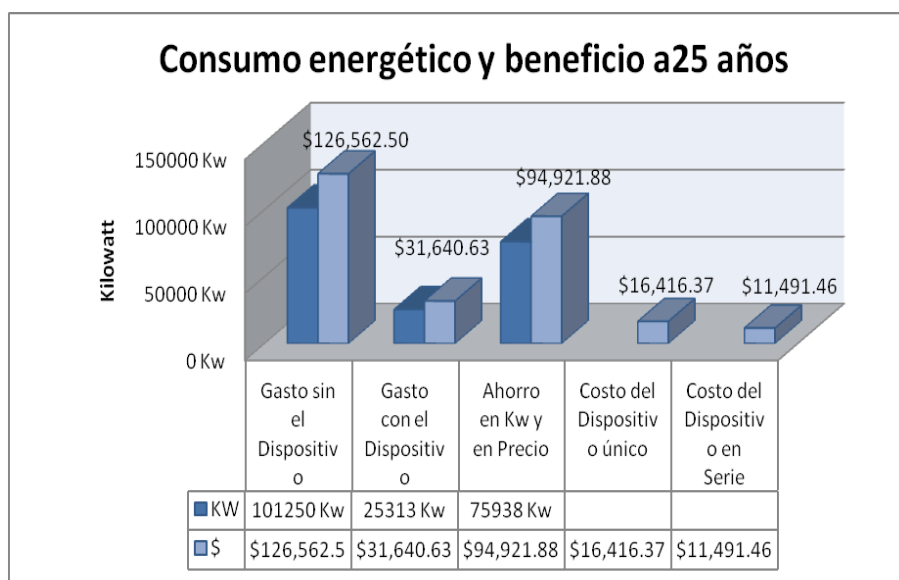
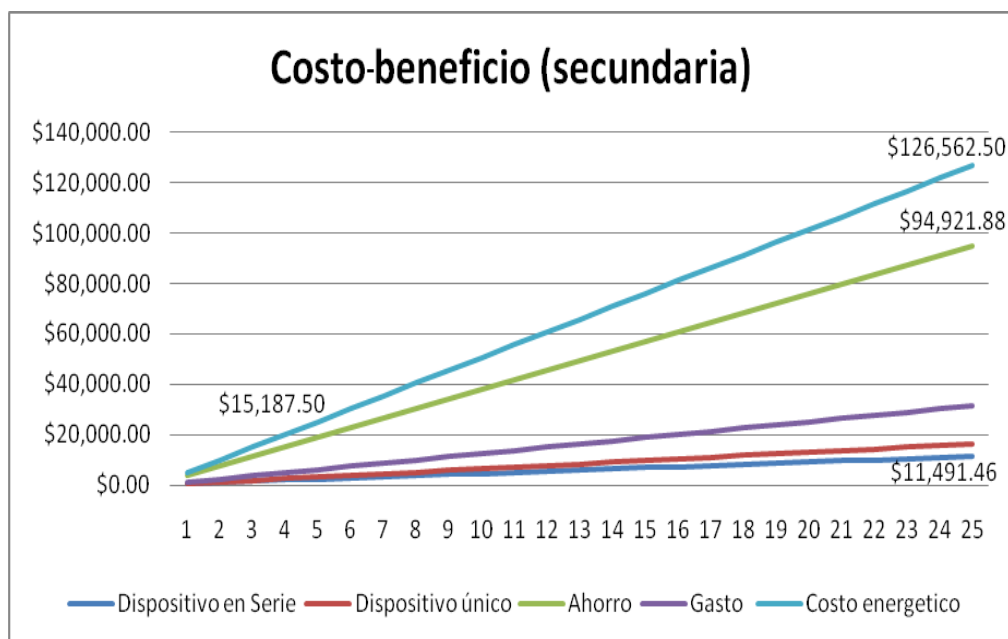


Figura 166: Análisis del consumo energético a 25 años.

El tiempo de vida útil del dispositivo es aproximadamente de 25 años por lo que en este periodo se consumirían 101,250 kilowatts con un costo de \$126,562.50 si el precio del kw se mantuviera en \$1.25 pero el costo se va incrementando paulatina-

mente, instalando el sistema se reduce el consumo a 25,313 kw con un costo de \$31,640.63, obteniendo un ahorro o beneficio de 75,938 kw con un costo de \$94,921.88. El costo del sistema de dos dispositivos fabricados de manera individual es de \$16,416.37 y de manera industrial se reduce el costo a \$11,491.46 por lo tanto el costo del sistema se ve amortizado en un plazo de 5 años fabricando los dispositivos de manera individual y de 3 años se fabrican en serie, (figura 166).

Conclusiones económicas.



La propuesta de acero inoxidable con placa de 1/8" se escogió porque se garantiza una vida útil de no menor de 25 años sin la necesidad de mantenimiento por lo que se pretende amortizar el gasto del dispositivo a lo largo de su vida.

Figura 167: Costo beneficio.

Es decir si para los casos de estudio tanto el edificio escolar como el habitacional se concluyo la instalación de dos dispositivos con un costo de \$ 7,137.55 cada uno, lo cual suma \$ 14,275.1 más \$ 2,141.26 de IVA dando un total de \$ 16,416.37 de inversión total de cada caso de estudio. Dicho gasto se amortizara en 25 años de vida útil del dispositivo lo cual nos da un costo de \$ 656.65 pesos por año. Si se compara con el gasto energético del consumo por iluminación se obtendrá el tiempo en que los dispositivos se pagan y el tiempo restante será abatido en el ahorro de energía este tiempo lo estimamos a un plazo no mayor a 5 años lo cual nos queda un rango de 20 años de ahorro energético en el rubro de la iluminación (figura 167).

El edificio escolar ahorrara en el consumo de energía de las lámparas de los pasillos, circulaciones y las aulas, aproximadamente 9 kilowatt/hora por día. En el caso del edificio habitacional el ahorro energético se contempla por las habitaciones de servicio orientadas a los cubos de iluminación las cuales tiene pocas horas de uso.

10.- Proyectos a futuro

- Pruebas de cuantitativas y cualitativas del confort lumínico obtenido a través de los patios de iluminación y ventilación con dimensiones mínimas permitidas por el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, el cual aplica para la mayoría de los estados y determinar si son suficientes estas dimensiones planteadas el RCDF o tendrán que ser modificadas. Para lo cual se plantean dos casos de estudio (hipotéticos) en edificios habitacionales de interés social, el primer caso se plantea con un patio en el cual se oriente espacios habitables en el cual el RCDF nos exige que el lado mínimo del patio sea un tercio de la altura y para el segundo caso será un patio con espacios de servicio orientados a éste (Tabla 18).
- Pruebas higrotermicas en las habitaciones beneficiadas por el dispositivo (ganancias térmicas).
- Diseño y cálculo de curva de eficiencia de modelos a escala para pruebas de iluminación.

Dimensiones Mínimas de acuerdo al RCDF							
Concepto	M2 Min	Altura	Lado Min.	Dimensiones	M2 de Ventana	Ventana	Nivel de Lux
Recamara principal	7 m2	2.30	2.40	2.425x2.886=7 m2	1.23	1.025x 1.20	200 lux
Cocina	3 m2	2.30	1.50	2.20x1.5=3.3m2	0.50	0.42x 1.20	500 lux
Baño y sanitarios	(b)	2.10	(b)	1.40x2.2=3.08m2	0.48	0.40x 1.20	100 lux

Normas técnicas Complementarias para el proyecto Arquitectónico				
Dimensiones	Dimensiones en baños	Ventanas	Dimensión del patio	Elevadores
2.1. Dimensiones y características de los locales en las edificaciones. (b) Las dimensiones libres mínimas para los espacios de los muebles sanitarios se ven en la tabla 3.3	3.2.2. Dimensiones mínimas de los espacios para muebles sanitarios Tabla 3.3. Excusado = 0.70 Lavado = 0.70 Regadera = 0.80 Distancia = 2.20	3.4.2.1 El área de la ventana no será menos al 17.5% del área de locales habitables y no será menor del 15% de locales complementarios.	3.4.2.2. Patios de iluminación y ventilación natural Tabla 3.4 Locales habitables 1/3 de la altura del paramento del patio Locales complementarios 1/4 de la altura del paramento del patio	4.1.5.1. Elevadores para pasajeros. En edificaciones plurifamiliares no se requiere elevador cuando no sea mayor a 15 m de altura y contemple 5 niveles más la planta baja.

Tabla 18: Normatividad de los patios de iluminación y ventilación y espacios mínimos habitables.

En la Tabla se indican los artículos del RCDF que serán el fundamento legal en cuestión, se pretende tener como caso de estudio un edificio habitacional de interés social con las dimensiones mínimas en todas los espacios como caso de estudio, es decir para la primera propuesta será un patio con espacios habitables orientados al patio y dichos espacios serán proyectados con las dimensiones mínimas de acuerdo con el RCDF y lo mismo para el segundo caso (Figuras 168-169).

Caso de estudio en espacios habitables.

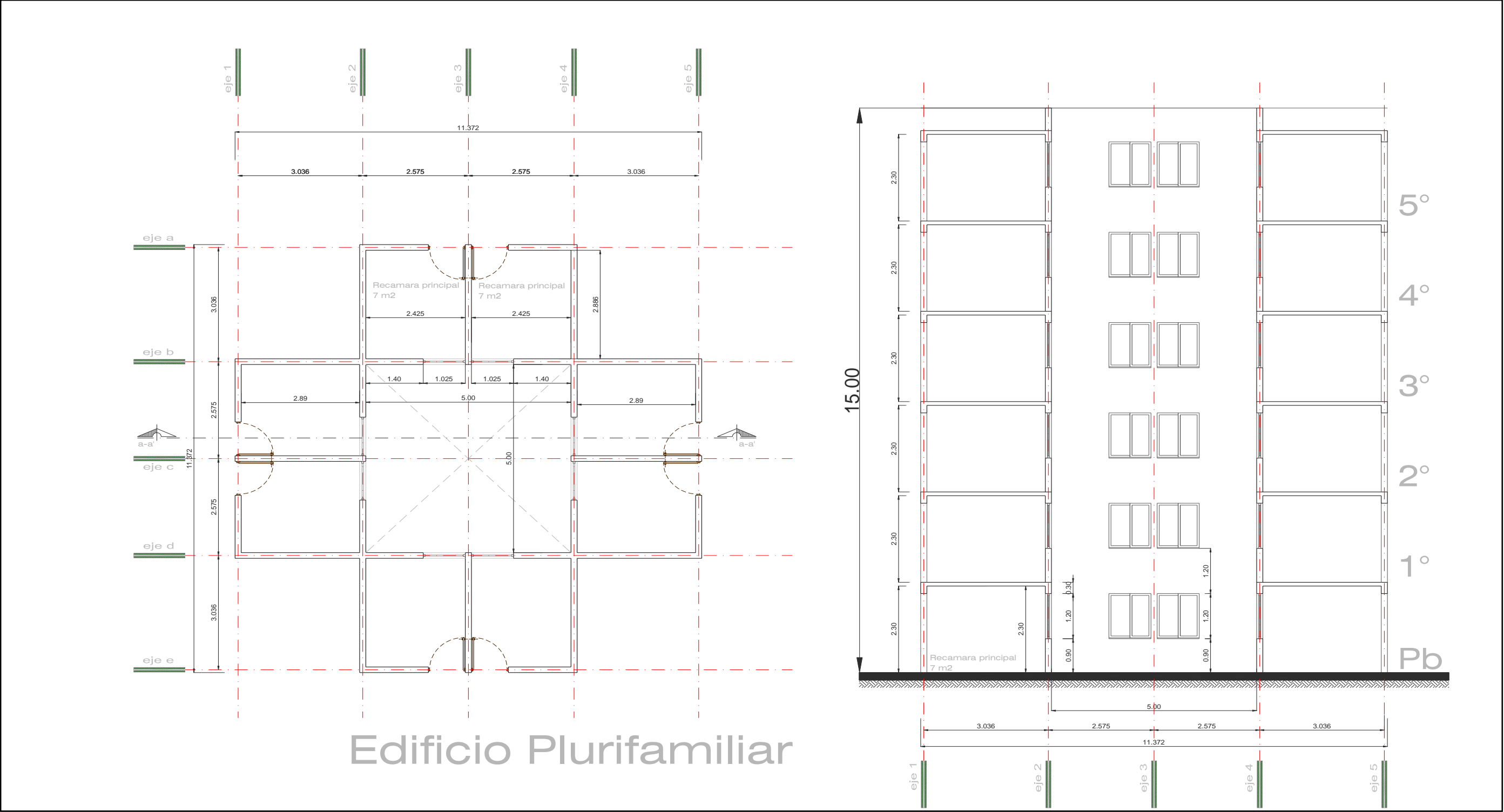


Figura 168: Caso de estudio habitable.

Caso de estudio en espacios no habitables.

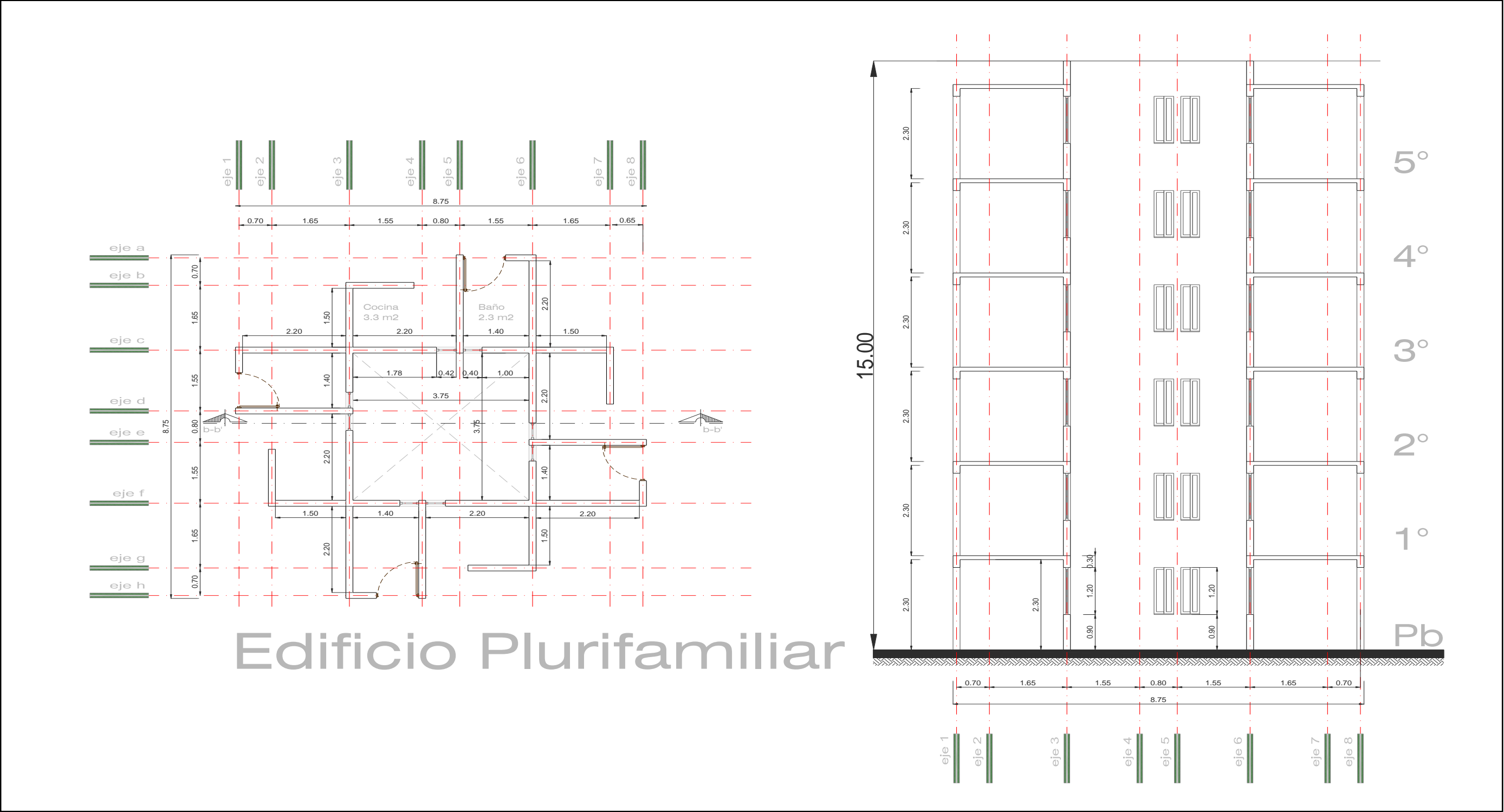


Figura 169: Caso de estudio no habitables.

11.- Conclusiones

La investigación de un sistema o dispositivo de alta eficiencia para la captación, concentración y transmisión de la luz natural a espacios orientados a patios o cubos nos arrojó una forma de una sola curvatura. Dicho dispositivo aumenta de manera cuantitativa y cualitativa los niveles de iluminación medidos en lux. Las pruebas realizadas comprobaron un incremento de eficiencia lumínica aproximada de un 25% en las plantas bajas, un 30% en el primer y segundo nivel y hasta un 40% en el tercer y cuarto nivel. Esto se determinó por las gráficas de isolux una vez tabulados los valores registrados en el modelo real, en el modelo a escala y en el modelo a escala con el dispositivo. Se realizó la comparación de los registros de las mediciones del modelo a escala con y sin el dispositivo, se observó un incremento favorable en los espacios orientados al patio. Estos incrementos son bastante favorables para el medio ambiente porque por cada ahorro de energía eléctrica se deja de emitir gases con efecto invernadero.

El aumento de la intensidad o cantidad de luz registrada en las habitaciones de los casos de estudio se comprobó no solo por aumento de la cantidad de lux si no también la calidad de la misma. Esta calidad se basa en una uniformidad, contraste y evitar el deslumbramiento de los usuarios producidos por la pantalla como usualmente sucede con sistemas especulares. El deslumbramiento de los usuarios se evitó con la misma forma o geometría del dispositivo, la curva va más inclinada en la parte inferior donde son pocos los rayos que se reflejan y el usuario podría mirar directamente y donde los rayos del sol inciden con mayor intensidad, la curva del dispositivo va siendo muy vertical y la vista de los usuarios en nula lo cual se evitan problemas de deslumbramiento. Pero la mayor importancia de la cantidad de lux registrados es su uniformidad de los niveles y con esto se obtiene cantidad y calidad de la iluminación en los espacios del caso de estudio.

Las gráficas de comparación con los modelos a escala nos permitieron verificar el aumento y la uniformidad de la luz, pero las pruebas realizadas con el modelo del dispositivo a escala 1:1 en los cubos de iluminación del edificio habitacional nos comprobó lo experimentado con los modelos a escala, el hecho de realizar pruebas y mediciones en el modelo real favoreció para dictaminar que la curva del dispositivo fusiona como se proyectó o calculó en laboratorio y gabinete. Estas pruebas con el modelo en tamaño real y con la pantalla en el material preciso (acero inoxidable con acabado pulido tipo espejo) verificaron y comprobaron la cantidad de lux en las habitaciones y en particular que no se

provocó deslumbramiento de los usuarios aún con una vista directa desde la planta baja y por cada nivel al dispositivo.

Se cotizó la fabricación del dispositivo con una empresa experta en acero al carbón, aluminio y en acero inoxidable el cual se va a utilizar para el dispositivo en acabado al alto brillo tipo espejo con costo aproximado de \$7,137.55 cada uno. Se proyectaron dos dispositivos por patio lo cual para el edificio escolar será un gasto de \$ 14,275.1 más \$ 2,141.26 de IVA dando un total de \$ 16,416.37 y para el edificio habitacional dos dispositivos por cada cubo de iluminación lo cual representa un gasto de los cuatro dispositivos de \$ 28,550.20 más \$ 4,282.53 de IVA con un total de \$ 32,832.73 pesos. La vida útil del dispositivo se calcula por el espesor del material, su fabricación y su nulo movimiento de 25 a 30 años aproximadamente. Para el caso del edificio escolar se obtiene un costo promedio de \$ 656.65 pesos por año de la inversión y comparado con el consumo de energía eléctrica para iluminar los pasillos y las aulas orientadas al patio se abate el costo. Para el segundo caso, el edificio escolar se obtiene un costo promedio de \$ 1,193.91 pesos por año de la inversión inicial lo cual comparado con el gasto por consumo de energía por iluminación de los espacios no habitables o de servicios orientados a los cubos se abate el costo de la inversión. Por lo tanto el costo del sistema se ve amortizado en un plazo de 5 años fabricando los dispositivos de manera individual y de 3 años se fabrican en serie.

La principal ventaja del dispositivo es su sencillo diseño, la idea principal es que cualquier arquitecto o ingeniero con un problema de iluminación similar a los de los casos de estudio puedan instalar el dispositivo en los pretilos del patio y aumentar los niveles de iluminación de las habitaciones y del patio. La finalidad de ser un dispositivo estático fue para evitar el mantenimiento y el que los usuarios tengan que estarlo moviendo o ajustando y la idea del sistema de giro en vertical y horizontal es la adaptación a cualquier latitud, esto con el fin de que se pueda instalar en diferentes ciudades sin tener que hacer modificaciones en el dispositivo si no solo un ajuste manual.

El diseño del dispositivo se basa en diseños pre-existentes o similares, estos dispositivos similares tiene la misma finalidad y función pero con forma, dimensiones y usos distintos, el dispositivo caso de esta investigación solo se llegó a una forma conceptual y lo ideal será trasladar este concepto a un diseñador industrial y afinar detalles constructivos, para lograr un abatimiento del costo y sea redituable para una producción en serie e instalación factible para obtener un ahorro de energía eléctrica por consumo de iluminación. Por lo que con la implantación de dispositivos lumínicos se baja el consumo de energía eléctrica la cual se ve reflejada por cada kwh se dejan de emitir 683 gramos de CO² bióxido de carbono aproximadamente.

Glosario

Bujía-pie

Unidad de iluminancia o luz que baña una superficie. Indica el nivel de luz de una superficie alejada un pie (30,48 cm) de una fuente de luz estándar. Una bujía-pie equivale a un lumen por pie cuadrado.

Candela (cd)

Medida de la intensidad luminosa de una fuente en una dirección determinada. El término se ha mantenido desde los primeros tiempos de la iluminación, cuando una vela estándar de tamaño y composición específicos se definía como generadora de una candela en cada dirección. Un trazo de intensidad frente a dirección se denomina curva de distribución de candela, y normalmente se ofrece para lámparas reflectantes y luminarias con una lámpara.

Coseno corregido

Contador de iluminancia que mide el nivel de luz correctamente, independientemente de su ángulo de procedencia.

Curva de distribución de la intensidad lumínica

Presentación gráfica de la distribución de la intensidad lumínica de una fuente de luz.

Distancia de trabajo (usual)

La distancia de trabajo indicada es la distancia desde la superficie frontal del borde del reflector hasta el plano de la película, en el sistema óptico para el que fue diseñada la lámpara. En la mayoría de los casos, ofrece un plano de luz uniforme para la abertura prevista.

Eficacia

Medida de la eficiencia de una fuente de luz para convertir la energía eléctrica.

Eficiencia

La eficiencia de una fuente de luz es simplemente la fracción de la energía eléctrica convertida en luz, es decir, los vatios de luz visible producidos por cada vatio de energía eléctrica, independientemente de la longitud de onda en que se irradia la energía. Por ejemplo, una lámpara incandescente convierte un 7% de la energía eléctrica en luz, mientras las lámparas de descarga convierten un 25% a un 40% de la energía en luz.

Espectro electromagnético

Secuencia continua de radiación eléctrica y magnética, que puede caracterizarse por longitud de onda o frecuencia. La luz visible abarca una parte reducida del espectro electromagnético en la región, desde unos 380 nanómetros (violeta) a 770 nanómetros (rojo) por longitud de onda.

Fotometría

Medida de la luz y cantidades asociadas.

Iluminación ambiental

Iluminación general de un área excluye iluminación para tareas específicas e iluminación para destacar, pero incluye iluminación general y diurna.

Iluminación de espectro completo

Término de marketing normalmente asociado a fuentes de luz similares a algunas formas de luz diurna natural (5000K y superior, IRC 90+), pero en ocasiones usado para lámparas con un espectro suave y continuo.

Iluminación indirecta

Método para iluminar un espacio dirigiendo la luz hacia arriba, hacia el techo. La luz desviada del techo produce una iluminación suave y difusa para en toda el área.

Iluminación para tareas

Iluminación complementaria para ayudar a realizar una tarea localizada.

Iluminancia

"Densidad" de la luz (lúmenes/área) que incide en una superficie, es decir, el nivel de luz de la misma. La iluminancia se mide en bujías-pie o lux.

Índice de rendimiento cromático (IRC)

Sistema internacional utilizado para clasificar la capacidad de una lámpara para reproducir los colores de los objetos. A mayor IRC (basado en una escala de 0 a 100), mayor intensidad de colores en general. Las clasificaciones de IRC de varias lámparas pueden compararse, pero una comparación numérica sólo es válida si estas lámparas tienen una temperatura de color similar. Las diferencias de IRC entre lámparas no suelen ser significativas (visibles al ojo), a menos que sean superiores a 3-5 puntos.

Lente

Elemento transparente o semitransparente que controla la distribución de luz mediante redireccionamiento de los rayos individuales. Las luminarias incorporan lentes a menudo, además de reflectores.

Ley del cuadrado inverso

Fórmula que indica que si se duplica la distancia desde la fuente de luz, el nivel de luz baja en un factor de 4, si se triplica baja en un factor de 9, y así sucesivamente.

Lúmenes

Medida del flujo lumínico o la cantidad de luz emitida por una fuente. Por ejemplo, una vela proporciona unos 12 lúmenes.

Lúmenes del haz

Total de lúmenes de la parte del haz incluida en el ángulo de radiación.

Luminancia

Medida del "brillo de la superficie" cuando un observador mira en dirección de la superficie. Se mide en candelas por metro o pie cuadrado, y en el pasado se denominaba "brillo fotométrico".

Longitud de onda

Distancia entre dos crestas vecinas de una onda en movimiento. La longitud de onda de la luz está entre 400 y 700 nanómetros.

Lúmenes medios

Flujo luminoso medio de una lámpara durante su vida útil nominal. Basado en la forma de la curva de depreciación del flujo luminoso; para lámparas fluorescentes y de haluro metálico, los lúmenes medios se miden al 40% de la vida útil nominal de la lámpara. Para lámparas de mercurio de sodio a alta presión e incandescentes, los valores de lumen medios indican los lúmenes al 50% de la vida útil nominal de la lámpara.

Lux (lx)

Unidad de luminancia o luz que baña una superficie. Un lux equivale a un lumen por metro cuadrado. Diez lux equivalen a un pie-bujía.

Luz

Energía radiante que puede percibir el ojo humano. La luz visible se mide en lúmenes.

Luz monocromática

Luz con una sola longitud de onda (es decir, color).

Luz no deseada (luz difusa)

La luz que no está dirigida o protegida de forma efectiva puede iluminar áreas no deseadas (puede dirigirse a conductores, peatones o vecinos). Es una luz molesta, que distrae y puede resultar incapacitante.

Plano de trabajo

Plano en el que se realiza el trabajo y en el que se especifica y mide la iluminación; a menos que se indique lo contrario, se asume que es un plano horizontal situado a 30 pulgadas (unos 75 cm) por encima del suelo (altura de un tablero de mesa) de área igual a la del suelo.

Radiación

Término general que designa la liberación de energía en forma de "onda" o "rayo". Toda luz es energía radiante o radiación, como el calor, la radiación UV, microondas, ondas de radio, etc.

Radiación por infrarrojos

Energía electromagnética radiada en el intervalo de longitud de onda de 770 a 1,000,000 de nanómetros. La energía de este intervalo no puede percibirla el ojo humano, pero sí puede sentirse en forma de calor.

Reflectancia

Proporción de luz reflejada desde una superficie y la que incide sobre ella.

Reflejo

Molestia visual causada por un brillo excesivo; se denomina resplandor molesto. Si la realización de tareas se ve afectada, se llama resplandor incapacitante. El resplandor puede ser directo o indirecto (reflejado).

Reflexión especular

Reflexión de una superficie suave y brillante, en oposición a la reflexión difusa.

Trazado de isocandela

Trazado con líneas que unen puntos de igual intensidad lumínica en torno a una fuente de luz.

Trazado Isolux (o trazado de isopie-bujía)

Línea trazada para mostrar puntos de igual luminancia (lux o bujías-pie) en una superficie iluminada por una o más fuentes de luz.

Bibliografía

1. ANFOSSI Agustín, FLORES, Marco, (1993) **Geometría Analítica**, Ed. Progreso, México
2. ANNEQUIN, R., BOUTIGNY, J. **Curso de ciencias físicas Óptica**, Ed. Reverté, España
3. AGUILAR, Mariano, Blanca, Vicente, **Iluminación y Color**, Servicio de Publicaciones SPUPV, Valencia, España
4. ARNAL, Luis, BETANCOURT, Max, (2006) **Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal**, Ed. Trillas, México
5. A.S.H.R.E. (2005) **Handbook Fundamentals**, Ed. American Society of Heating Air Conditioning Engineers Inc. Atlanta, USA.
6. BERTRÁN de Quintana (1982) **Miguel, con el Sol en la Mano**, Ed. UNAM, México D.F.
7. CETTO, Ana María (1987) **La luz**, E. Fondo de Cultura Económica, México, D.F.
8. CLERICI, Carlo, **Luminotecnia**, Ed. Técnicas REDE, Barcelona, España
9. DITCHBURN, R. W., (1980) **Óptica**, Ed. Reverte, España
10. EVANS, Martin (1967) **Housing, Climate and Comfort**, The Architecture Press, London, England
11. FEJIÓ, Jesús, **Instalaciones de Iluminación en la Arquitectura**, Universidad de Valladolid, Colegio Oficial de Arquitectos en Valladolid
12. FIGUEROA, Aníbal/ FUENTES, Víctor (1990) **Criterios de Adecuación Bioclimática en la Arquitectura**, Ed. I.M.S.S México D.F.
13. FUENTES Freixanet, Víctor (2004) **Clima y Arquitectura**, UAM- Azcapotzalco, México, D.F.
14. GARCÍA, José Roberto (1999) **Arquitectura Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable**, Universidad Autónoma Metropolitana, México
15. GARCÍA, José Roberto (1996) **Diseño Bioclimático para Ahorro de Energía y Confort Ambiental Integral**, Universidad Autónoma Metropolitana, México
16. GARCÍA, José Roberto (1990) **Manual de Arquitectura Solar**, Ed. Trillas, México
17. GARCÍA, José Roberto, GONZÁLEZ E (2001) **Importancia del confort Termolumínico en las Edificaciones de Oficinas**. Memorias ANES

18. GARCÍA, José Roberto (2000) **Hacia una Arquitectura Ecológica y Sustentables**, Universidad Autónoma Metropolitana, México
19. GARCÍA, José Roberto e tal (2004) **Introducción a la Arquitectura Bioclimática**, Editorial Limusa, México
20. IBÁÑEZ, M., ROSELL Polo, J. R., ROSELL Urrutia, J.I. (2005) **Tecnología Solar, Colección Energías Renovables**, Ed. Mundi-Prensa Madrid, España
21. IESNA (2000) **Lighting Handbook Referent**, 2000 9th edition. IESNA, NY
22. LACOMBA R./FUENTES (1990) **Manual de Arquitectura Solar**, Ed. Trillas, México, D.F.
23. MAULDIN, John H. (1992) **Luz, láser y óptica**, Ed. McGraw-Hill, España
24. MAZRIA, Eduardo (1995) **El libro de la energía solar pasiva**, México.
25. OLGYAY, Victor (1963) **Design with Climate**, Princeton University Press, Princeton, U.S.A.
26. OLGYAY, Víctor y Aladar (1963) **Solar Control and Shading Devices**, Princeton University Press, Princeton, U.S.A.
27. RODRÍGEZ, Manuel V., Compilador, **Estudios de Arquitectura Bioclimática**, Néstor A. Mesa, Andrea Pattini, Lorena Córca y Carlos de Rosa, **Metodología de evaluación de la potencialidad de la luz natural para iluminar edificios, en entornos de alta densidad, en zonas áridas andinas**, Anuario 2004, Vol. VI Ed. LIMUSA Noriega Editores, Universidad Autónoma Metropolitana, México
28. RODRÍGEZ, Manuel V., Compilador, **Estudios de Arquitectura Bioclimática**, Guillermo de la paz Pérez y Agustín Martínez, **Hiperinstructor para la enseñanza de la iluminación natural en la arquitectura**, Anuario 2004, Vol. VI Ed. LIMUSA Noriega Editores, Universidad Autónoma Metropolitana, México
29. RODRÍGEZ, Manuel V., Compilador, **Estudios de Arquitectura Bioclimática**, Jorge Hernán Salazar Trujillo y Alexander González Castaño, **Optimización ambiental por iluminación natural: el aeropuerto de Alicante, España**, Anuario 2004, Vol. VI Ed. LIMUSA Noriega Editores, Universidad Autónoma Metropolitana, México
30. SAVIOLI, Carlos U. (1993) **Iluminación Natural**, Ed. Alsina, Buenos Aires, Argentina
31. SEGURA, Gerardo F., Compilador, **Estudios de Arquitectura Bioclimática**, Marcelo Huenchuñir Bustos y Jennette Roldán Rojas **Optimización de la iluminación natural en aulas escolares**, Anuario 2006, Vol. VIII Ed. LIMUSA Noriega Editores, Universidad Autónoma Metropolitana, México
32. SZOKOLAY, Steven (1980) **Energía Solar y Edificación**, Ed. Blume, England
33. WINSTON, Roland, Miñano, Juan C., Benítez, Pablo, **Nonimaging Optics**, Ed. El Sevier Academia Press, USA

Bibliografía electrónica

1. <http://es.wikipedia.org/wiki/Luz>
2. <http://es.wikipedia.org/wiki/Parabola>
3. <http://es.wikipedia.org/wiki/Iluminacion>
4. http://es.wikipedia.org/wiki/Iluminaci%C3%B3n_f%C3%ADsica
5. <http://es.wikipedia.org/wiki/Patio>
6. <http://es.wikipedia.org/wiki/Lux>
7. http://www.learn.londonmet.ac.uk/packages/tareb/docs/ecb/ecb_ch4_es.pdf
8. <http://www.iluminacionsolar.com.mx/>
9. <http://www.solargarden.com.ar/>
10. <http://www.arqhys.com/construccion/iluminacion-patio.html>
11. http://huitoto.udea.edu.co/Matematicas/La_Parabola.html
12. http://huitoto.udea.edu.co/Matematicas/La_Elipse.html
13. http://huitoto.udea.edu.co/Matematicas/La_Hiperbola.html
14. http://huitoto.udea.edu.co/Matematicas/Ecuaciones_2grado.html
15. http://huitoto.udea.edu.co/Matematicas/ejer_res_sec_conica_parabola.html
16. <http://www.sitiosolar.com/Dispositivos%20de%20iluminacion%20solar.htm>
17. <http://www.iesna.org/>
18. <http://www.contraloria.df.gob.mx/prontuario/vigente/385.htm>
19. http://luzenarquitectura.com.mx/home_1.html
20. <http://www.arqhys.com/articulos/luz-arquitectura.html>

Curriculum vitae



Nombre: **Alejandro Díaz Báez** Nacionalidad: **Mexicana**
Licenciatura: **Arquitecto** Cedula Profesional: **3716659**
R.F.C.: **DIBA770812LZ3** CURP: **DIBA770812HDFZZL05**
Edad: **32 Años**
TEL: **26 02 69 56** Cel: **044 55 33 79 61 29**
Email: arqdzbaez@hotmail.com arqdzbaez@yahoo.com.mx

Escolaridad

Licenciatura, UNAM, Facultad de Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México, Periodo 1997-2002

Especialidad en Diseño, con Mención Académica, UAM, Postgrado de Diseño, Universidad Autónoma Metropolitana, Periodo 2006-2007

Maestría, UAM, Postgrado de Diseño, Universidad Autónoma Metropolitana, Periodo 2007-2009

Cursos Extracurriculares

Autocad 2006, UNAM Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Arquitectura

3DS STUDIO MAX 6, UNAM Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Arquitectura

ARQUICAD, ArchiCenter de México (Copilco)

Construcción con Madera, COMACO, Consejo Nacional de la Madera en la Construcción

Curso de Redacción, UAM Universidad Autónoma Metropolitana

II Seminario Nacional "El fraude: Cómo reducir su incidencia. Un enfoque Global", Asociación de Examinadores de Fraude Certificados. ACFE Capítulo México

Trabajos publicados

Programa para el cálculo de colectores solares

(ANES, Asociación nacional de Energía Solar) Octubre 2007

Análisis de Iluminación de un edificio comercial en la Cd. de México para establecer estrategias generales de diseño para el aprovechamiento de luz natural.

(ANES, Asociación nacional de Energía Solar) Octubre 2008

Diseño de un dispositivo de iluminación de alta eficiencia instalado en un cubo de iluminación de un edificio comercial

(ANES, Asociación nacional de Energía Solar) Agosto 2008

Comparación de costo beneficio de sistemas de recuperación de agua

contra sistemas tradicionales.

(proyecto edificio de departamentos de lujo en Xochimilco)

(ANES, Asociación nacional de Energía Solar) Agosto 2008

Diseño de dispositivo de iluminación natural en patios o cubos para edificaciones nuevas o existentes

(ANES, Asociación nacional de Energía Solar) Octubre 2009

Experiencia Laboral

- **CONSEJO CÍVICO CULTURAL CINCO DE MAYO**

(Diseño Arquitectónico de Museo Interactivo)

Puesto: Proyectista

Duración: 4 Meses Puebla, Puebla

Periodo: Julio-Octubre 2003

- **CAPSA, CONSTRUCCIÓN Y PROYECTOS S.A. DE C.V.**

(Diseño Arquitectónico de Conjunto Habitacional)

Puesto: Proyectista

Duración: 8 Meses México D.F.

Periodo: Enero-Agosto 2005

- **INMOBILIARIA CONSORO S.A. DE C.V.**

(Diseño Arquitectónico de Conjunto Habitacional)

Puesto: Supervisión de Obra

Duración: 1 Año México D.F.

Periodo: Enero-Diciembre 2006

- **AUDITORÍA SUPERIOR DE LA FEDERACIÓN**

(Dirección General de Auditoría de Inversiones Físicas Federales)

Puesto: Coordinador de Auditoría

Duración: 10 Meses México D.F.

Periodo: Octubre 2008 a Agosto 2009

- **AUDITORÍA SUPERIOR DE LA FEDERACIÓN**

(Dirección General de Auditoría de Inversiones Físicas Federales)

Puesto: Auditor de Fiscalización "B"

Trabajo Actual (agosto de 2009)